BEZIEHUNGEN ZWISCHEN LICHTBRECHUNG DICHTE UND CHEMISCHER ZUSAMMENSETZUNG IN DER GRANATGRUPPE

VON

H. v. PHILIPSBORN
IN CHARLOTTENBURG

DES XL. BANDES
DER ABHANDLUNGEN DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN KLASSE
DER SÄCHSISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
N° III

MIT 15 FIGUREN

VORGELEGT VON HERRN RINNE

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1928

Einzelpreis 2.50 Mark

ABHANDLUNGEN DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN KLASSE
DER SÄCHSISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU LEIPZIG

I. BAND. (1. Bd.)*) 1852. brosch. Preis ℳ 13.60.

II. BAND. (4. Bd.) 1855. brosch. Preis ℳ 20.—

III. BAND. (5. Bd.) 1857. brosch. Preis ℳ 19.20.

M. W. DROBISCH, Nachträge zur Theorie der musikalischen Tonverhältnisse. 1855. ℳ 1.20
P. A. HANSEN, Auseinandersetz. einer zweckm. Methode z. Berechn. d. absol. Störungen d. klein. Planeten. 1. Abh. 1856. Vergr. ℳ 5.—
R. KOHLRAUSCH und W. WEBER, Elektrodynamische Maßbestimmungen, insbesondere Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maß. 2. Abdruck. 1889. ℳ 1.60
H. D. ARREST, Resultate aus Beobachtungen der Nebelflecken und Sternhaufen. Erste Reihe. 1856. ℳ 2.40
W. G. HANKEL, Elektr. Untersuchungen. 1. Abhdlg.: Üb. d. Mess. d. atmosph. Elektrizität nach absol. Maße. Mit 2 Taf. 1856. ℳ 6.—
W. HOFMEISTER, Beiträge zur Kenntnis der Gefäßkryptogamen. II. Mit 13 Tafeln. 1857.

IV. BAND. (6. Bd.) 1859.

P. A. HANSEN, Auseinandersetz. d. absol. Störungen d. klein. Plan
W. G. HANKEL, Elektrische Unt thermo-elektrischen Eigenschaf
—— Elektrische Untersuchungen. erregung zwischen Metallen und
P. A. HANSEN, Theorie der So Erscheinungen. Mit 2 Tafeln.
G. T. FECHNER, Über ein wicht. u. dessen Beziehung zur Schätzu
W. HOFMEISTER, Neue Beiträge derPhanerogamen. I. Dikotyled durch Zellenteilung wachs. End

V. BAND. (7. Bd.) 1861.

W. G. HANKEL, Elektrische Unte Verhalten d. Weingeistflamme i
P. A. HABSEN, Auseinandersetz. e d. absoluten Störungen d. klein.
G. T. FECHNER, Üb. ein. Verhält. d
G. METTENIUS, 2 Abhdlgn. I. B Mit 5 Taf. II. Über Seitenknos
W. HOFMEISTER, Neue Beiträge d. Phanerogamen. II. Monokotyl

VI. BAND. (9. Bd.) 1864.

W. G. HANKEL, Elektrische Un bestimmungen der elektromotor
—— Messungen über die Absorpt Sonnenlichtes. 1862.
P. A. HANSEN, Darlegung der th den Mondtafeln angewandten St
G. METTENIUS, Üb. d. Bau v. Angi
W. WEBER, Elektrodynamische über elektrische Schwingungen.

VII. BAND. (11. Bd.) 1865.

P. A. HANSEN, Darlegung der the Mondtafeln angewandten Störun
G. METTENIUS, Üb. d. Hymenoph
P. A. HANSEN, Relationen einesteil u. anderenteils zwischen Integralen u. Differentialen. 1865. ℳ 2.—
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 6. Abhdl.: Maßbestimmungen der elektromotor. Kräfte. 2. Teil. 1865. ℳ 2.80

VIII. BAND. (13. Bd.) 1869. brosch. Preis ℳ 24.—

P. A. HANSEN, Geodätische Untersuchungen. 1865. Vergr. ℳ 5.60
—— Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen den Sternwarten zu Gotha und Leipzig, unter seiner Mitwirkung ausgeführt von Dr. Auwers und Prof. Bruhns im April des Jahres 1865. Mit 1 Figurentafel. 1866. ℳ 2.80
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 7. Abhdl.: Über die thermoelektr. Eigensch. d. Bergkrystalles. M. 2 Taf. 1866. ℳ 2.40
P. A. HANSEN, Tafeln der Egeria mit Zugrundelegung der in den Abhandlungen der K. S. Ges. d. Wissenschaften in Leipzig veröffentlichten Störungen dieses Planeten berechnet und mit einleitenden Aufsätzen versehen. 1867. ℳ 6.80
—— Von der Methode der kleinsten Quadrate im Allgemeinen und in ihrer Anwendung auf die Geodäsie. 1867. ℳ 6.—

IX. BAND. (14 Bd.) 1871. brosch. Preis ℳ 18.—

P. A. HANSEN, Fortgesetzte geodätische Untersuchungen, bestehend in zehn Supplementen zur Abhandlung von der Methode der kleinsten Quadrate im Allgemeinen und in ihrer Anwendung auf die Geodäsie. 1868. ℳ 5.40
—— Entwickelung e. neuen veränd. Verfahrens z. Ausgleichung e. Dreiecksnetzes m. besond. Betracht. d. Falles, in welchem gewisse Winkel vorausbestimmte Werte bekommen sollen. 1869. ℳ 3.—
—— Supplement zu der geodätische Untersuch. benannten Abhandlg. die Reduction d. Winkel ein. sphäroid. Dreiecks betr. 1869. ℳ 2.—
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 8. Abhdl. Über die thermoelektr. Eigensch. des Topases. Mit 4 Tafeln. 1870. ℳ 2.40
P. A. HANSEN, Bestimmung d. Sonnenparallaxe durch Venusvorübergänge vor d. Sonnenscheibe m. besond. Berücksichtig. d. i. J. 1874 eintreffenden Vorüberganges. Mit 2 Planigloben. 1870. ℳ 3.—
G. T. FECHNER, Zur experiment. Ästhetik. 1. Teil. 1870. ℳ 2.—

X. BAND. (15. Bd.) 1874. brosch. Preis ℳ 21.—

W. WEBER, Elektrodynamische Maßbestimmungen, insbesondere über das Prinzip der Erhaltung der Energie. 1871. ℳ 1.60
P. A. HANSEN, Untersuchungen des Weges eines Lichtstrahls durch eine belieb. Anzahl v. brechenden sphär. Oberflächen. 1871. ℳ 3.60
C. BRUHNS und E. WEISS, Bestimmung der Längendifferenz zwischen Leipzig und Wien. 1872. ℳ 2.—
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 9. Abhdl.: Über die thermoelektr. Eigensch. d. Schwerspathes. M. 4 Taf. 1872. ℳ 2.—
—— Elektrische Untersuchungen. 10. Abhdl.: Über die thermoelektr. Eigenschaften des Aragonites. Mit 3 Tafeln. 1872. ℳ 2.—
C. NEUMANN, Über die den Kräften elektrodynamischen Ursprungs zuzuschreibenden Elementargesetze. 1873. ℳ 3.80
P. A. HANSEN, Von der Bestimmung der Teilungsfehler eines gradlinigen Maßstabes. 1874. ℳ 4.—
—— Über d. Darstellung d. grad. Aufsteigens u. Abweichens d. Mondes in Funktion d. Länge in d. Bahn u. d. Knotenlänge. 1874. ℳ 1.—
—— Dioptr. Untersuchungen mit Berücksicht. d. Farbenzerstreuung ugelgestalt. 2. Abhdl. 1874. ℳ 2.—

878. brosch. Preis ℳ 21.—

gangswert d. kleinst. Abweichungssumme, ndung und Verallgemein. 1874. ℳ 2.—
von Weber für die elektrischen Kräfte 4. ℳ 3.—
che Untersuchungen. 11. Abhdl.: Über genschaften d. Kalkspathes, des Berylles, ophyllites. Mit 3 Tafeln. 1875. ℳ 2.—
Störungen der großen Planeten, ins- 1875. ℳ 6.—
che Untersuchungen. 12. Abhdl.: Über igenschaften des Gypses, des Diopsids, s u. des Periklins. Mit 4 Taf. 1875. ℳ 2.—
che Untersuchungen, insbesondere über . 1876. ℳ 3.—
sche Gesetz bei Zugrundelegung der uniise. 1876. ℳ 1.—
. Maßbestimmungen, insbesondere über wirkung. Mit 1 Tafel. 1878. ℳ 2.—

1883. brosch. Preis ℳ 22.—

he Untersuchungen. 13. Abhdl.: Über genschaften des Apatits, Brucits, Coele- , Skolezits, Datoliths und Axinits. Mit ℳ 2.—
luktion elliptischer Integrale in reeller ℳ 5.—
ndlung über die Reduktion elliptischer . 1880. ℳ 1.50
ersuchungen. 14. Abhdl.: Über d. photo- d. Flußspathes. Mit 3 Taf. 1879. ℳ 2.—
ingendiff. zwisch. d. Sternwarte in Leipzig d. Türkenschanze in Wien. 1880. ℳ 2.40
eripolaren Koordinaten. 1880. ℳ 1.50
tät auf ein. Kugelkalotte. 1880. ℳ 2.40
ntersuch. 15. Abhdl.: Über die aktino- aften des Bergkrystalles und ihre Be- ktrischen. Mit 4 Tafeln. 1881. ℳ 2.—
ungen. 16. Abhdl.: Über die thermo- lvins, Mellits, Pyromorphits, Mimetesits, ases, Strontianits, Witherits, Cerussits, Euklases und Titanits. Mit 3 Tafeln. 1882. ℳ 2.—
—— Elektrische Untersuchungen. 17. Abhdl.: Über die bei einigen Gasentwickelungen auftretenden Elektrizitäten. 1883. ℳ 1.80

XIII. BAND. (22. Bd.) 1887. brosch. Preis ℳ 30.—

G. T. FECHNER, Über die Frage des Weberschen Gesetzes u. Periodizitätsgesetzes im Gebiete des Zeitsinnes. 1884. ℳ 2.80
—— Über die Methode der richtigen und falschen Fälle in Anwendung auf die Maßbestimmungen der Feinheit oder extensiven Empfindlichkeit des Raumsinnes. 1884. ℳ 7.—
W. BRAUNE u. O. FISCHER, Die bei der Untersuchung v. Gelenkbewegungen anzuwendende Methode, erläut. am Gelenkmechanismus des Vorderarmes beim Menschen. Mit 4 Taf. 1885. ℳ 2.—
F. KLEIN, Über d. elliptischen Normalkurven der n^{ten} Ordnung und zugehörige Modulfunktionen der n^{ten} Stufe. 1885. ℳ 1.80
C. NEUMANN, Über die Kugelfunktionen P_n und Q_n insbesondere über die Entwicklung der Ausdrücke $P_n(zz_1 + \sqrt{1-z^2}\sqrt{1-z_1^2}\cos\Phi)$ und $Q_n(zz_1 + \sqrt{1-z_1}\sqrt{1-z_1^2}\cos\Phi)$. 1886. ℳ 2.40
W. HIS, Zur Geschichte des menschlichen Rückenmarkes und der Nervenwurzeln. Mit 1 Tafel und 10 Holzschnitten. 1886. ℳ 2.—
H. BRUNS, Über eine Aufg. d. Ausgleichungsrechnung. 1886. ℳ 2.—
R. LEUCKART, Neue Beiträge zur Kenntnis des Baues und der Lebensgeschichte der Nematoden. Mit 3 Tafeln. 1887. ℳ 7.—
C. NEUMANN, Über die Methode des arithmetischen Mittels. 1. Abhdl. Mit 11 Holzschnitten. 1887. ℳ 3.20

XIV. BAND. (24. Bd.) 1888. brosch. Preis ℳ 42.—

J. WISLICENUS, Über d. räuml. Anordnung d. Atome inorganisch. Molekülen u. ihre Bestimmung in geometr.-isomeren ungesättigter Verbindungen. Mit 186 Fig. 2. Abdruck. 1889. Vergr. ℳ 4.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Untersuchungen über die Gelenke des menschl. Armes. 1. T.: Das Ellenbogengelenk v. O. Fischer. 2. T.: Das Handgelenk von W. Braune und O. Fischer. Mit 12 Holzschnitten und 15 Tafeln. 1887. ℳ 5.—

*) Die eingeklammerten Ziffern geben die Zahl des Bandes in der Reihenfolge der Abhandlungen beider Klassen an.

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN LICHTBRECHUNG DICHTE UND CHEMISCHER ZUSAMMENSETZUNG IN DER GRANATGRUPPE

VON

H. v. PHILIPSBORN
IN CHARLOTTENBURG

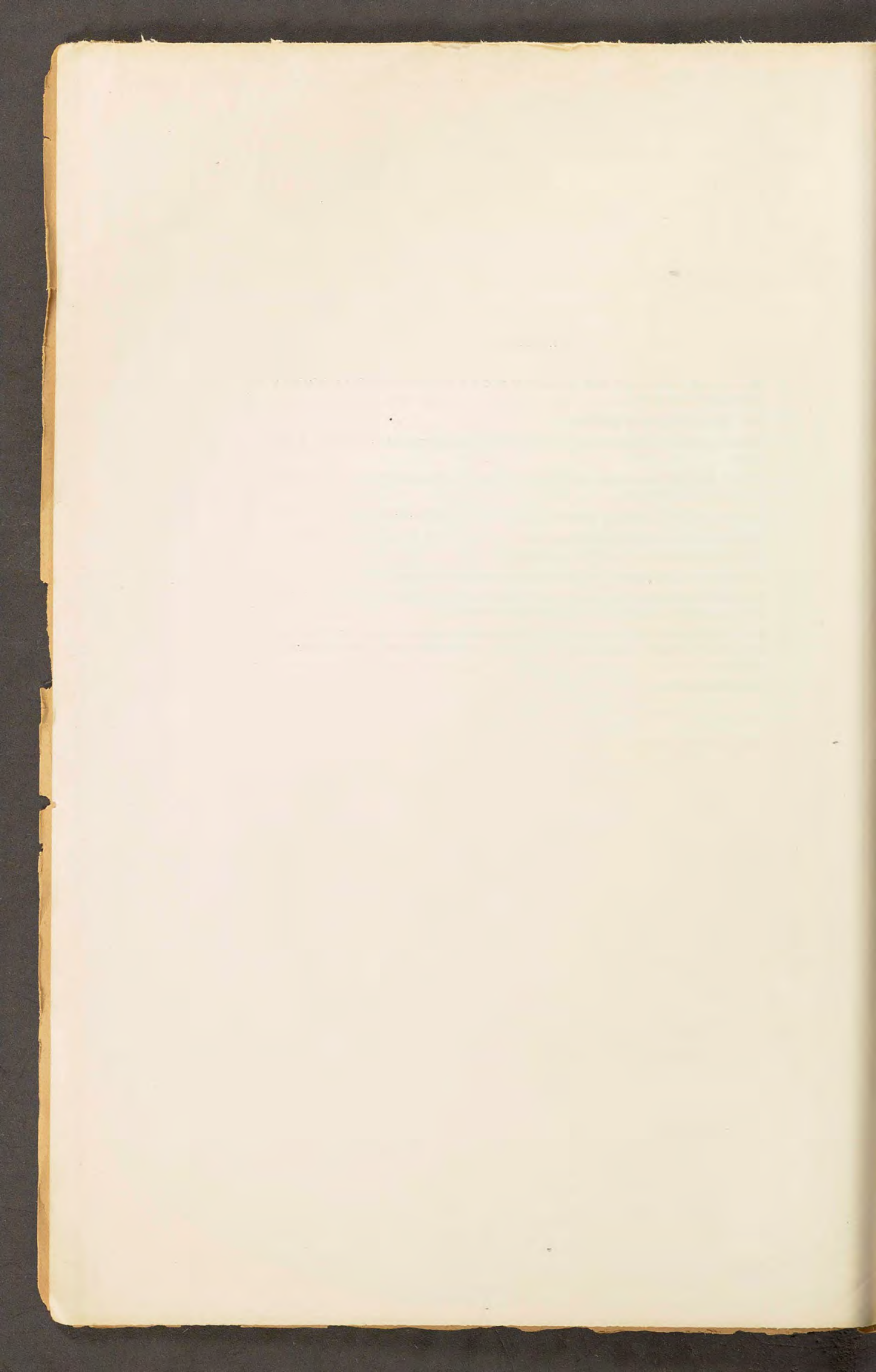
DES XL. BANDES
DER ABHANDLUNGEN DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN KLASSE
DER SÄCHSISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
N° III
MIT 15 FIGUREN

VORGELEGT VON HERRN RINNE

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1928

Vorgetragen für die Abhandlungen am 30. April 1928.
Das Manuskript eingeliefert am 7. Mai 1928.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 11. Juli 1928.

Inhalt.



I. Die ternären Diagramme von W. E. Ford und die Grenzen ihrer Genauigkeit bei quaternären Granaten.

W. E. Ford (Lit. 4) hat in seiner 1915 erschienenen Untersuchung der Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dichte und chemischer Zusammensetzung in der Granatgruppe die Lichtbrechung und Dichte der theoretischen reinen Endglieder errechnet (vgl. Tabelle I) und auch gezeigt, in welcher Annäherung die Gladstonesche Formel $\left(\frac{n-1}{d} = k\right)$ und die Formeln von Rosicky (für das kubische System

$$\frac{\frac{4\pi}{3n^3}}{d} = \frac{F}{d} \quad \text{und} \quad \frac{{}^4/_3\pi n^3}{d} = \frac{R}{d}\Big)$$

in der Granatgruppe Gültigkeit haben.

Tabelle I.
Lichtbrechung und Dichte der reinen Granatkomponenten.
(nach W. E. Ford)

	n_{Na}	d
Pyrop	1.705	3.510
Grossular	1.735	3.530
Spessartin	1.800	4.180
Almandin	1.830	4.250
Uwarowit	1.870	?
Andradit	1.895	3.750

Unter der Voraussetzung einer ungestörten linearen Abhängigkeit der Lichtbrechung und Dichte in den Mischungen zeichnet W. E. Ford in acht Dreiecksdiagrammen für die Mischungen von jeweils drei Granatkomponenten die Linien gleicher Lichtbrechung und gleicher Dichte als parallele Gerade mit gleichen Abständen.

Nach der Ansicht von W. E. Ford kann in der Mehrheit der Fälle die chemische Zusammensetzung eines Granats aus den von ihm gegebenen Dreiecksdiagrammen mit ziemlicher Genauigkeit ermittelt werden, wenn man Lichtbrechung, Dichte und vorherrschende Komponenten (durch qualitative Analyse) kennt.

W. E. Ford berechnet nämlich, daß von allen ihm erreichbaren Granatanalysen (die Zahl ist nicht angegeben) nur 15 % quaternär oder polynär, 85 % dagegen ternär oder binär sind. Bei dieser Rechnung vernachlässigt er Komponenten, die mit weniger als 5 Molprozent beteiligt sind.

Man darf jedoch, falls man eine exakte Darstellung erstrebt, bei der Abgrenzung ternär, quaternär oder polynär nur solche Komponenten unberücksichtigt lassen, die mit weniger als 2 oder 3 Molprozent beteiligt sind. In vielen Fällen können nämlich schon 2 bis 3 Molprozent einer vierten Komponente Lichtbrechung oder Dichte oder beide Konstanten merklich ändern.

Bei Berücksichtigung auch untergeordneter Komponenten muß der weitaus größte Teil der Granate als quaternär und quinär gelten.

In der Fig. 1a sind mit den Werten der Tabelle 1 für das im Tetraeder dargestellte 4-Stoffsystem Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit (Molprozent) fünf Flächen gleicher Lichtbrechung (ihre Spuren auf den Tetraederflächen ausgezogene Linien) für $n = 1.720$, 1.760, 1.800, 1.840, 1.880 und vier Flächen gleicher

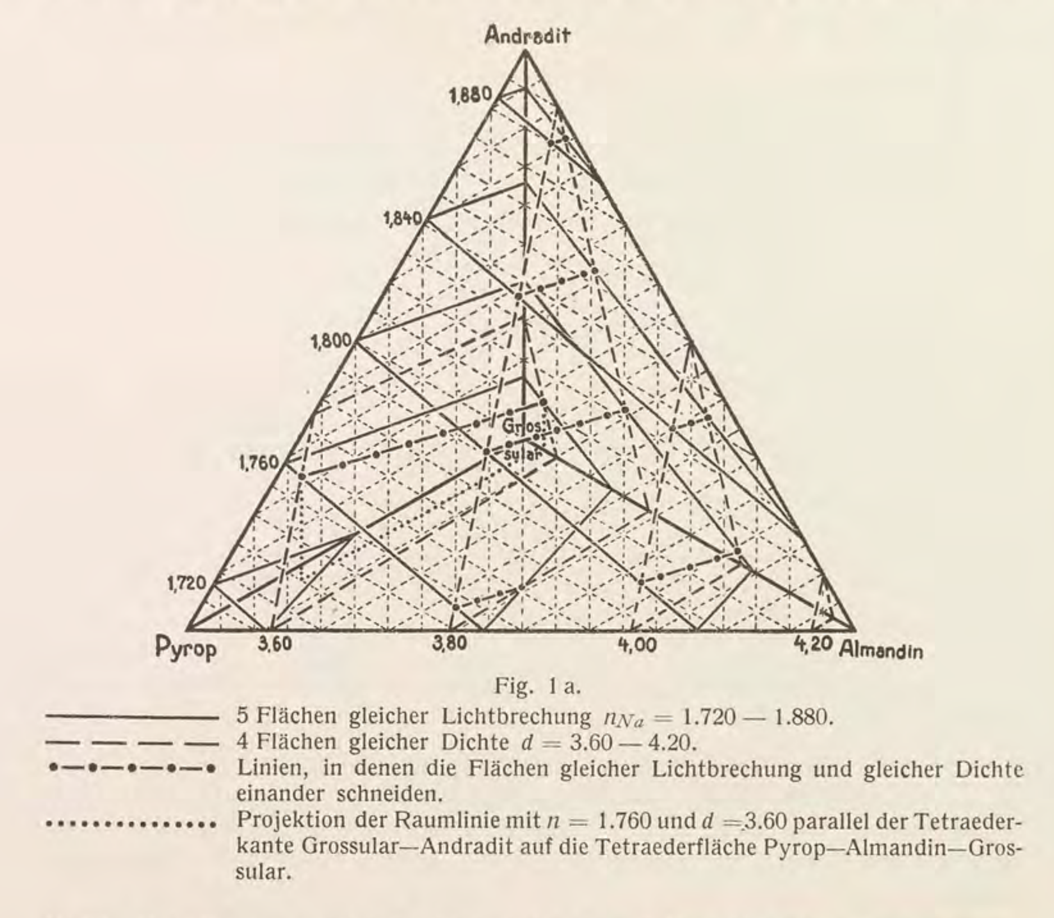


Fig. 1 a.

——————— 5 Flächen gleicher Lichtbrechung $n_{Na} = 1.720 - 1.880$.

— — — — 4 Flächen gleicher Dichte $d = 3.60 - 4.20$.

•—•—•—•—• Linien, in denen die Flächen gleicher Lichtbrechung und gleicher Dichte einander schneiden.

•••••••••••••• Projektion der Raumlinie mit $n = 1.760$ und $d = 3.60$ parallel der Tetraederkante Grossular—Andradit auf die Tetraederfläche Pyrop—Almandin—Grossular.

Dichte (ihre Spuren gestrichelte Linien) für $d = 3.60$, 3.80, 4.00, 4.20 gezeichnet. Durch Schraffur wird die räumliche Lage der Flächen noch anschaulicher (Fig. 1b).

Angewendet ist eine Projektionsmethode quaternärer Systeme, über die ich an anderer Stelle (Lit. 8) berichtete. Die Dreieckskoordinaten sind gegenüber der üblichen Lage um 90° gedreht. Koordinatenausgangspunkt ist der Mittelpunkt des Dreiecks, der als rückwärts liegende Tetraederecke betrachtet wird[1]). Man hat das Bild eines Tetraeders in Parallelprojektion, in welchem die Koordinatenpapierlinien die Parallelprojektionen von sämtlichen Scharen der Raumkoordinaten darstellen, die parallel den drei rückwärts liegenden Tetraederkanten verlaufen[2]).

1) Natürlich kann diese Tetraederecke auch dem Beschauer zu liegend gedacht sein; hier ist sie in den Figuren stets rückwärts liegend angenommen.

2) In den Figuren gilt der Maßstab 100 Teile = 5 cm, außer in Fig. 11b, die den Maßstab 100 Teile = 10 cm, und außer in Fig. 15, die den Maßstab 100 Teile = 2.5 cm hat.

Im quaternären System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit (cf. Fig. 1 a und 1 b) liegen die Flächen gleicher Lichtbrechung angenähert parallel zur Tetraederkante Pyrop — Grossular und schneiden die Tetraederkanten Grossular — Almandin und Grossular — Andradit unter Winkeln, die nicht sehr verschieden sind.

Die Flächen gleicher Dichte liegen der Tetraederfläche Pyrop — Grossular — Andradit ungefähr parallel.

Die Linien, in denen die Flächen gleicher Lichtbrechung und gleicher Dichte einander schneiden (in der Fig. 1 a — · — · — · — gezeichnet), laufen (im Raume)

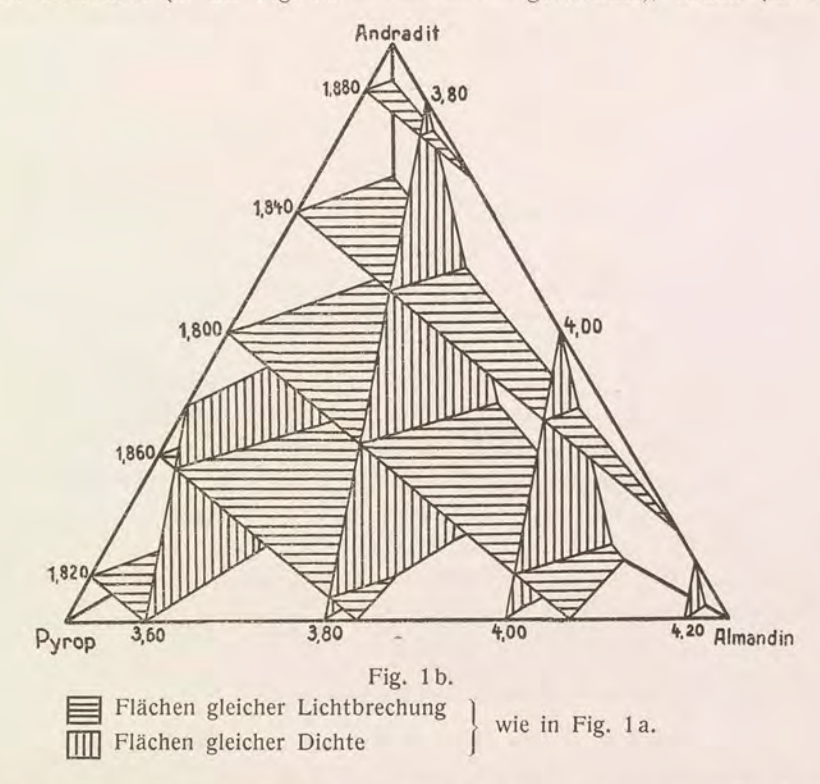


Fig. 1 b.

Flächen gleicher Lichtbrechung } wie in Fig. 1 a.
Flächen gleicher Dichte

der Tetraederfläche Pyrop — Grossular — Andradit fast genau parallel. Die Projektion einer solchen Raumstrecke parallel zur Tetraederkante Grossular — Andradit auf die Tetraederfläche Pyrop — Almandin — Grossular liegt nämlich nahezu parallel zur Tetraederkante Pyrop — Grossular. In der Fig. 1 a ist die Projektion für die Schnittlinie der Fläche $n = 1.760$ mit der Fläche $d = 3.60$ gepunktet angegeben.

Es ist aus der Fig. 1 a zu ersehen und auch zahlenmäßig abzulesen, in welchen Fällen die vier 3-Stoffsysteme

1. Pyrop + Almandin + Grossular
2. Pyrop + Grossular + Andradit
3. Almandin + Grossular + Andradit
4. Pyrop + Almandin + Andradit

beim Übergang ins 4-Stoffsystem ihre Lichtbrechung und Dichte, in welchen Fällen sie ihre Lichtbrechung oder Dichte unverändert beibehalten, in welchen Fällen sie ihre Lichtbrechung und Dichte ändern und schließlich, in welchen Fällen die Änderungen selbst bei erheblichen Zumischungen noch unbedeutend bleiben und in

welchen Fällen schon einige Molprozente einer vierten Komponente starke Änderungen bewirken[1]).

Lichtbrechung und Dichte des 3-Stoffsystems Pyrop + Almandin + Andradit werden nicht wesentlich geändert, selbst nicht, falls ein größerer Teil des Pyrops durch Grossular ersetzt wird. Bei einer Zumischung von Almandin zum 3-Stoffsystem Pyrop + Grossular + Andradit wird die Lichtbrechung verhältnismäßig nur wenig, die Dichte aber bedeutend steigen.

Als gesteinsbildende Minerale sind die Granate des Systems Pyrop + Almandin + Grossular besonders wichtig. Die Fig. 1a und 1b zeigen, daß eine Zumischung von Andradit die Dichte nur wenig, die Lichtbrechung aber stark erhöhen muß. Z. B. hat ein Granat mit

32.5 Pyrop, 47.5 Almandin, 20 Grossular (Molprozent): $n = 1.770$, $d = 3.864$,

ein Granat aber mit

32.5 Pyrop, 47.5 Almandin, 15 Grossular, 5 Andradit: $n = 1.778$, $d = 3.873$.

Ein Gehalt von Andradit ist bei gesteinsbildenden Granaten sehr häufig. So sind von 13 Granaten, deren Analysen P. Eskola in seiner Untersuchung norwegischer Eklogite (Lit. 3) mitteilt, nur drei ternär mit Pyrop, Grossular und Almandin, die übrigen 10 haben neben diesen Komponenten noch bis zu 7 Molprozent Andradit. Von 6 Granaten eklogitischer Gesteine, die der Verfasser untersuchte, ist nur einer ternär, die übrigen haben ebenfalls bis zu 6 Molprozent Andradit.

An einem Beispiel sei gezeigt, wie groß bei Anwendung der Fordschen Diagramme die Fehler einer graphischen Ermittlung der chemischen Zusammensetzung aus Lichtbrechung und Dichte sind, wenn ein Granat nicht ternär, sondern quaternär ist.

Man würde für einen Granat, dessen Lichtbrechung zu $n = 1.790$ und dessen Dichte zu $d = 3.920$ bestimmt wurde, im Fordschen Dreiecksdiagramm Pyrop—Almandin—Andradit

37 Pyrop, 52.5 Almandin, 10.5 Andradit

und im Dreiecksdiagramm Almandin — Grossular — Andradit

53.5 Almandin, 44 Grossular, 2.5 Andradit

ablesen. Im Dreiecksdiagramm Pyrop — Almandin — Grossular haben die Linien für $n = 1.790$ und $d = 3.920$ keinen Schnittpunkt.

Die Entscheidung, welcher Granat vorliegt, würde nach W. E. Ford bei einer positiv ausgefallenen qualitativen MgO-Bestimmung zugunsten des Granats mit 37 Pyrop, 52.5 Almandin, 10.5 Andradit zu treffen sein. Auch würde man sich ohne chemische Untersuchung für diesen Komplex entscheiden können, weil der andere Komplex in der Mischungslücke liegt.

Die Lichtbrechung $n = 1.790$ und die Dichte $d = 3.920$ haben aber nicht nur die zwei ermittelten ternären Granate, sondern auch alle quaternären, die sich aus den zwei ternären zusammensetzen lassen, so z. B. ein quaternärer Granat mit:

20 Pyrop, 53 Almandin, 20 Grossular, 7 Andradit.

---

1) Zwischen solchen Mischungsgliedern eines polynären Mischkristallsystems, die gleiche Lichbrechung und gleiche Dichte haben, bestehen natürlich verschiedene besonders einfache Beziehungen hinsichtlich der Zusammenhänge von Lichtbrechung, Dichte und Chemismus. Diesbezügliche Untersuchungen sollen an quaternären Mischkristallen, die in jeder gewünschten Komposition herstellbar sind, vorgenommen werden.

Das Beispiel zeigt, daß (außer beim Almandingehalt) recht große Fehler entstehen können:

20	anstatt 37	Pyrop
20	„ 0	Grossular
7	„ 10	Andradit.

Sehr klar treten die Beziehungen bei einer Darstellung im 4-Stoffsystem hervor. In der Figur 2 sind die zwei Flächen für $n = 1.790$ ($ABCD$) und für $d = 3.920$ (EFG) gezeichnet. Alle Granate, die $n = 1.790$ und $d = 3.920$ haben, liegen mit ihren dar-

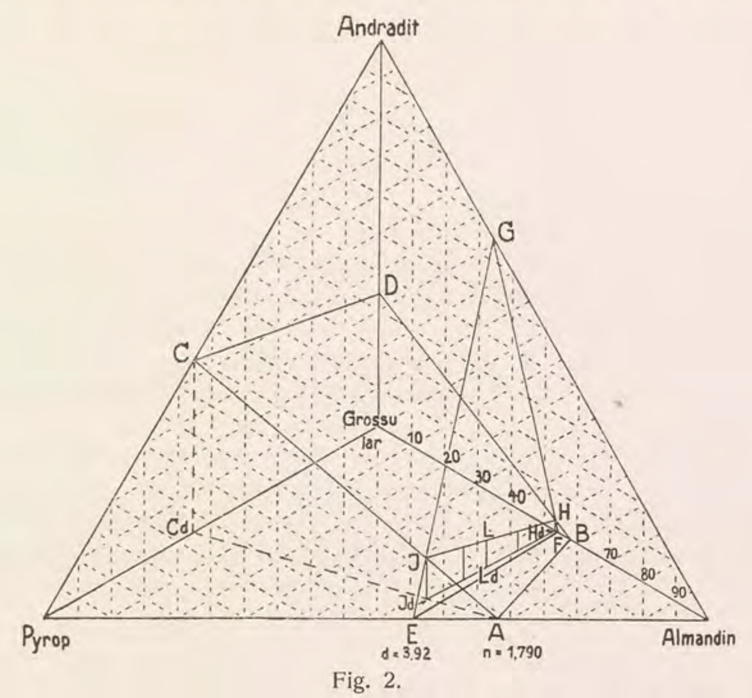


Fig. 2.

$ABCD$ Fläche der Lichtbrechung $n_{Na} = 1.790$. EFG Fläche der Dichte $d = 3.92$. JH Schnittlinie beider Flächen, auf ihr liegen quaternäre Granate mit $n = 1.790$ und $d = 3.92$. $L_d L$ ein Granat mit 20 Pyrop, 53 Almandin, 20 Grossular, 7 Andradit.

stellenden Punkten auf der Raumlinie JH, in welcher die n- und d-Fläche einander schneiden. J ist der Schnittpunkt für n- und d-Linie im ternären System Pyrop + Almandin + Andradit (mit den Koordinaten 37 Pyrop, 52.5 Almandin, 10.5 Andradit), H für das ternäre System Grossular + Almandin + Andradit (mit den Koordinaten 53.5 Almandin, 44 Grossular, 2.5 Andradit).

Die Koordinaten der quaternären Komplexe, die auf der Raumstrecke JH liegen, können abgelesen werden, sobald noch die Projektion der Raumstrecke JH parallel der Tetraederkante Grossular — Andradit auf die Tetraederfläche Pyrop — Almandin — Grossular gezeichnet ist, es ist in der Figur die Strecke $J_d H_d$. H_d ist der Schnittpunkt der parallel zur Tetraederkante Grossular — Andradit durch H laufenden Koordinatenlinie mit der Tetraederkante Grossular — Almandin. J_d ist der Schnittpunkt einer entsprechenden durch J laufenden Koordinatenlinie mit AC_d. AC_d ist die Projektion von AC parallel zur Tetraederkante Grossular — Andradit auf die Tetraederfläche Pyrop — Almandin — Grossular.

Die quaternären Punkte der Linie JH werden am bequemsten und eindeutig dargestellt durch Strecken, die parallel zur Tetraederkante Grossular — Andradit zwischen der Linie JH und ihrer Projektion $J_d H_d$ gezeichnet werden. Diese Strecken entsprechen den Koordinaten für Andradit.

In der Figur 2 sind auf diese Art drei quaternäre Granate dargestellt, für alle ist $n = 1.790$ und $d = 3.920$. Der mit $L_d L$ bezeichnete Granat hat:

20 Pyrop, 53 Almandin, 20 Grossular, 7 Andradit.

Der Punkt L_d gibt in dem △ Pyrop — Almandin — Grossular die Koordinaten für Pyrop, Almandin und (Grossular + Andradit) an. Die Strecke $L_d L$ ist die Koordinate für Andradit, der Punkt L ist also der wahre quaternäre Raumpunkt.

Der Almandingehalt der quaternären Granate der Strecke JH bleibt fast konstant, weil die Raumlinie JH nahezu parallel zur Tetraederfläche Pyrop — Grossular — Andradit verläuft (vgl. S. 3, Abs. 3). Es ist infolge dieses speziellen Umstandes also möglich, den Almandingehalt eines quaternären Granats schon mit zwei Konstanten (n und d) recht genau zu ermitteln.

Ein Vergleich von Lichtbrechung und Dichte der Granatkomponenten in Tabelle I und die Fig. 1 lassen schließlich auch erkennen, welchen Einfluß ein Eintritt von Spessartin in das System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit haben muß. Spessartin an der Stelle von Almandin erniedrigt die Lichtbrechung und Dichte. Durch Uwarowit an der Stelle von Andradit wird die Lichtbrechung gleichfalls herabgesetzt.

Titanreiche Granate mit Andradit als Hauptkomponente haben eine sehr hohe Lichtbrechung (z. B. zeigt ein Granat mit 8.7 % TiO_2 $n = 1.94$. cf. Lit. 7). Titanreiche Granate und überhaupt Granate mit andern als den in der Tabelle I verzeichneten Komponenten sind in die vorliegende Untersuchung nicht einbezogen worden.

II. Neue Darstellung im 4-Stoffsystem.

Eine Darstellung der Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dichte und chemischer Zusammensetzung kann in ternären Diagrammen, wie gezeigt wurde, in den meisten Fällen nur ein angenähertes Bild geben, da der weitaus größte Teil der Granate quaternär oder polynär ist.

Da die Entscheidung, ob ein quaternärer oder polynärer Granat vorliegt, nur nach ziemlich umständlichen chemischen Prüfungen getroffen werden kann, bleibt, um sich bei graphischer Analyse vor Fehlermittlungen zu schützen, nichts anderes übrig, als die graphische Ermittlung der Granate grundsätzlich in Diagrammen quaternären Charakters vorzunehmen, und, wo fünfte und sechste Komponenten zu vermuten sind, sogar diese in Rechnung zu stellen.

Die Linien gleicher Lichtbrechung oder anderer Konstanten der Dreiecksdiagramme werden in Raumdiagrammen zu Flächen gleicher Werte. Zur eindeutigen Bestimmung eines quaternären Mischkristalls sind drei Konstanten erforderlich. Der Schnittpunkt der drei Flächen dreier gegebener Konstanten ist der darstellende Punkt eines quaternären Komplexes. Komplexe sind ternär, falls sich die Spuren

der drei Flächen auf einer Tetraederfläche in einem Punkte schneiden. Liegt der darstellende Raumpunkt auch noch auf der Fläche gleicher Werte einer gegebenen vierten Konstante, so ist das ein Zeichen dafür, daß eine fünfte Komponente nicht vorhanden ist.

Diagramme quaternären und quinären Charakters lassen sich nach einem Verfahren des Verfassers ohne besondere Schwierigkeiten zeichnen und handhaben.

Die Flächen gleicher Werte für die physikalischen Konstanten sind im allgemeinen Fall krumme Flächen, die nicht parallele Scharen bilden. Wenn zwischen den physikalischen Konstanten und dem Chemismus lineare Abhängigkeit besteht, werden die Flächen zu Ebenen. Es ist eine z. Z. noch umstrittene Frage, für welche Konstanten[1]) und unter welchen Bedingungen rein additive Änderungen erfolgen. Da die graphischen Operationen in quaternären und quinären Diagrammen für Konstanten mit linearer oder nahezu linearer Abhängigkeit besonders einfach werden, wird es vorteilhaft sein, polynäre Diagramme, die zur graphischen Ermittlung der chemischen Zusammensetzung aus physikalischen Konstanten dienen sollen, in erster Linie für solche Konstanten zu entwerfen.[2])

Zweckmäßigerweise werden bei einem Molprozentdiagramm nicht nur die Flächen gleicher Werte für die physikalischen Konstanten konstruiert, sondern auch die Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes für die chemischen Konstituenten, wie sie die chemische Analyse liefert. Diese Flächen sind Ebenen, die nicht parallel zu einander liegen.

Es müssen sich die Flächen aller physikalischen Konstanten und aller chemischen Konstituenten eines gegebenen Komplexes in einem einzigen Punkte schneiden. Ist das nicht der Fall, so kommen als Gründe vor allem in Betracht: Unrichtigkeit des Diagramms, fehlerhafte Bestimmung der Konstanten, Analysenfehler, Unreinigkeit des Analysenmaterials, Unstimmigkeiten zwischen theoretischer Formel und chemischer Analyse des Minerals, Einfluß von nicht berücksichtigten isomorphen Komponenten. Wo der Fehler steckt und durch welche „Korrektur" er am einfachsten behoben würde, läßt graphische Konstruktion oft leichter als Rechnung erkennen.

Bei der Verwendung von Tetraederdiagrammen zur graphischen Ermittlung der chemischen Zusammensetzung aus physikalischen Konstanten ist zu bedenken, daß nur solche Konstanten exakte Resultate geben können, deren Flächen sich nicht unter zu spitzen Winkeln schneiden. Wenn die Spuren der Flächen zweier Konstanten auf den Tetraederflächen parallel oder nahezu parallel verlaufen, wird die graphische Ermittlung ternärer, nicht in jedem Fall aber auch die quaternärer Komplexe unmöglich oder ungenau.

Da die Diagramme in der Regel nicht in einer für eine exakte graphische Analyse erforderlichen Größe gedruckt werden können, empfiehlt es sich, die Werte, die zu einer genauen Konstruktion eines Diagramms in beliebigem Maßstab notwendig sind, in Tabellen mitzuteilen. Stehen solche Tabellen zur Verfügung, dann kann man ihnen sehr rasch die wenigen gerade notwendigen Werte entnehmen und ist des Zeichnens eines vollständigen Diagramms enthoben.

---

1) Auch die Dichte muß nicht im generellen Fall der Mischkristallbildung eine lineare Funktion der chemischen Zusammensetzung sein, sie wird es nur unter bestimmten Bedingungen sein.

2) Nach einer neueren Untersuchung von M. W. Porter (Lit. 9) ändert sich beispielsweise bei den monoklinen Mischkristallen von Ammoniummagnesiumchromat und Rubidiummagnesiumchromat ein Brechungsexponent (Schwingungen längs der Symmetrieachse) linear.

Vom Verfasser wurden für die vorliegende Untersuchung Diagramme mit Tetraederseitenlänge = 35.5 cm oder 71.0 cm verwendet (große Bogen Dreieckskoordinatenpapier Nr. 315½ R von Schleicher & Schüll).

Leicht und exakt bestimmbare physikalische Konstanten, die bei einer graphischen Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der Granate im 4- und 5-Stoffsystem neben Lichtbrechung und Dichte als dritte und vierte notwendige Konstante fungieren könnten, dürften kaum zu finden sein.

Die Dispersion der Lichtbrechung ist in der Granatgruppe nicht so verschieden, daß die Flächen gleicher Dispersion allgemein verwendet werden könnten. In einzelnen Fällen kann, wie noch gezeigt werden wird, die Dispersion allerdings Aufklärung über die chemische Zusammensetzung geben.

Die Unterschiede der Lichtabsorption werden sehr wahrscheinlich — zumindest im sichtbaren Teil des Spektrums, wo sie noch verhältnismäßig leicht bestimmt werden könnten — nicht groß genug sein, um eine exakte graphische Ermittlung zu ermöglichen.

Die Intensitätsunterschiede bestimmter Linien in Debye-Scherrer-Diagrammen von Granaten verschiedener Mischung, auf die vor kurzem hinsichtlich diagnostischer Verwertung C. H. Stockwell (Lit. 12) aufmerksam machte, sind gleichfalls zu einer graphischen Ermittlung, die bis auf einige Molprozente genau sein soll, nicht geeignet. Auch die Unterschiede der Gitterabstände sind zu gering.

Man bleibt also — zunächst wenigstens noch — bei der graphischen Ermittlung quaternärer und quinärer Granate außer auf die Kenntnis von Lichtbrechung und Dichte auf die quantitative Kenntnis einer bzw. zweier chemischer Konstituenten angewiesen. Aber auch bei der indirekten Analyse nichtkubischer Minerale, bei denen außer Lichtbrechung noch mehrere andere optische Konstanten zur Verfügung stehen, wird man, wenn sie polynär sind, nicht immer ohne chemische Daten auskommen. Für solche Fälle ist die Ausarbeitung chemischer Schnellmethoden besonders wichtig. In erster Linie dürfte die quantitative Spektralanalyse berufen sein, dort, wo physikalische Konstanten allein eine graphische Ermittlung nicht ermöglichen, die notwendigen chemischen Werte zu liefern.

III. Flächen gleicher Lichtbrechung im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

Eine eingehende Prüfung an Granatanalysen, die später als die Fordsche Arbeit veröffentlicht wurden, und an Analysen des Verfassers ergab, daß die Lichtbrechungswerte, wie sie W. E. Ford für die reinen Komponenten errechnet hat, und auch die Voraussetzung einer linearen Abhängigkeit der Lichtbrechung in den Mischungen im allgemeinen[1]) richtig sein müssen[2]). Auch P. Niggli (Lit. 7) konnte schon in seinem Referat über die Granatgruppe für vier neue Analysen eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den aus den Fordschen Werten errechneten Brechungsexponenten feststellen.

1) Über die durch Andradit verursachten Unstimmigkeiten s. W. E. Ford l. c.

2) Die Prüfung konnte sich in Ermangelung anderer neuer Analysen im wesentlichen nur auf Mischkristalle von Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit erstrecken.

In der Fig. 3 sind mit den Werten der Tabelle I die Flächen gleicher Lichtbrechung im Tetraeder für das System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit gezeichnet. Die Spuren der Flächen gleicher Lichtbrechung auch auf der Tetraederfläche Pyrop-Almandin-Andradit zu ziehen, ist überflüssig und würde das Diagramm nur unübersichtlich machen. Die zwei, durch eine große Mischungslücke getrennten Mischungsräume, die den beiden Tetraederkanten Pyrop-Almandin und Grossular-Andradit anliegen, sind mit starken Linien gekennzeichnet.

In der Fig. 3 ist mit $P_d P$ der Vektor eines quaternären Granats mit den Koordinaten

25 Pyrop, 45 Almandin, 20 Grossular, 10 Andradit

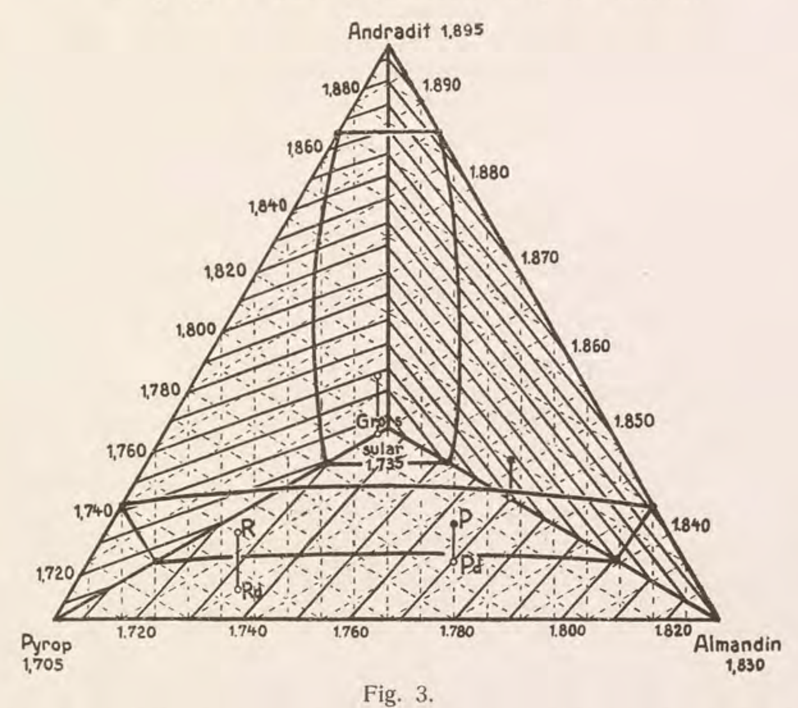


Fig. 3.
Flächen gleicher Lichtbrechung im quaternären System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit. Skizzierung der Mischungslücke. Für den Granat $P_d P$ mit 25 Pyrop, 45 Almandin, 20 Grossular, 10 Andradit liest man ab: $n = 1.786$.

eingetragen. Um den Wert der Lichtbrechung dieses Komplexes zu erhalten, wird der Vektor $P_d P$ auf der Linie gleicher Lichtbrechung, auf welcher sein P_d-Punkt liegt, bis zur Tetraederkante Grossular-Almandin verschoben. Die Linie gleicher Lichtbrechung, die nun durch seinen P-Punkt hindurchgeht, gibt die gesuchte Lichtbrechung, im Beispiel $n = 1.786$.

Die Lichtbrechung ternärer Komplexe der vorderen Tetraederfläche kann auf gleichem Wege gefunden werden. $R_d R$ ist ein ternärer Granat mit

65 Pyrop, 20 Almandin, 15 Andradit

und der Lichtbrechung $n = 1.759$ (cf. Fig. 3).

Den umgekehrten Fall — gegeben ist die Lichtbrechung, gesucht wird die chemische Zusammensetzung — erläutert die Fig. 4.

Es ist mit $ABCD$ die Fläche gleicher Lichtbrechung für $n = 1.780$ gezeichnet. EF ist die Linie, in der die n-Fläche und die Fläche für 15 Molprozent Pyrop einander

schneiden. Auf EF liegen also alle quaternären Granate mit $n = 1.780$ und 15 Molprozent Pyrop. Ihre Koordinaten können an den darstellenden Vektoren zwischen EF und E_dF abgelesen werden. O_dO und P_dP sind z. B. zwei Granate mit $n = 1.780$ und 15 Pyrop.

Ferner ist GH als Schnittlinie der Fläche für $n = 1.780$ und der Fläche für 25 Molprozent Almandin gezeichnet. Der Punkt G ist der Schnittpunkt von BD mit der 25 Almandin entsprechenden Koordinatenlinie, H der Schnittpunkt von AC mit der Linie SN (in der Figur nicht gezogen).

JK ist die Strecke, auf der alle Granate mit $n = 1.780$ und 20 Molprozent Gros-

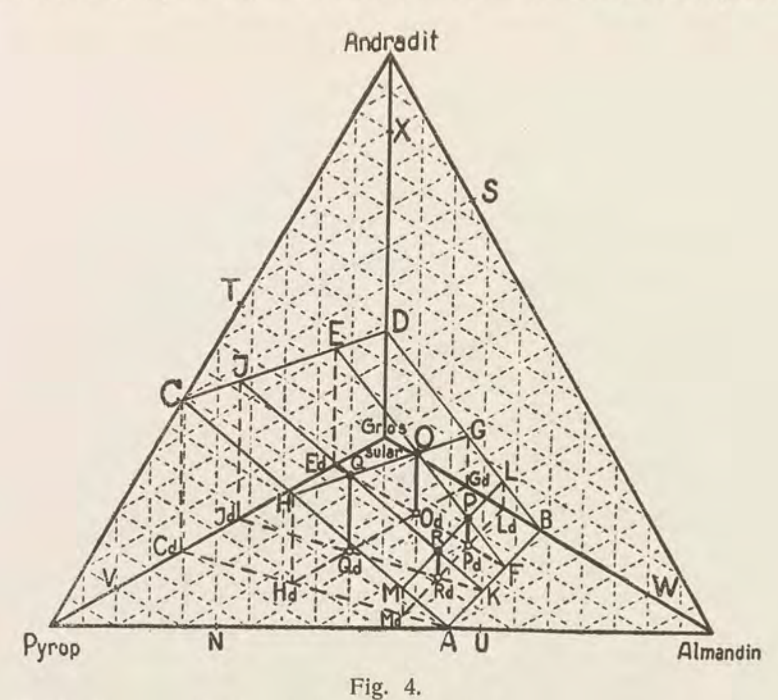


Fig. 4.
$ABCD$ = Fläche für n_{Na} 1.780. auf dieser Fläche die Strecken EF für 15 Pyrop, GH für 25 Almandin, JK für 20 Grossular, LM für 7 Andradit.

sular liegen. VWX (in der Figur sind nur die Punkte angegeben) ist die Fläche für 20 Grossular, VW schneidet AB in K, VX CD in J. Es ist auch $JT = 20$ und $UK = 20$ ($UK = 20$ in halbem Maßstab), J und K können auch durch diese Beziehung gefunden werden.

Schließlich ist noch mit LM die Strecke angegeben, auf der alle Granate mit $n = 1.780$ und 7 Molprozent Andradit liegen. Wie L und M gefunden werden können, ergibt sich aus dem schon Gesagten.

Die vier Punkte, in denen sich die vier Strecken EF, GH, JK und LM schneiden, haben nachstehende Koordinaten:

	Pyr.	Alm.	Gro.	And.
O_dO	15	25	44	16
P_dP	15	41	37	7
Q_dQ	35	25	20	20
R_dR	28	45	20	7

Das rasche Zeichnen eines genauen Diagramms in großem Maßstabe und einer einzigen Fläche für eine bestimmte Lichtbrechung ermöglichen die Werte der nachstehenden Tabelle II.

Tabelle II.

Werte der Lichtbrechung (n_{Na}) für die sechs binären Teilsysteme des quaternären Systems Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

	1	2	3	4	5	6
n_{Na}	Pyrop-Almandin Mol % Alm.	Grossular-Almandin Mol % Alm.	Pyrop-Grossular Mol % Gro.	Pyrop-Andradit Mol % And.	Grossular-Andradit Mol % And.	Almandin-Andradit Mol % And.
1.705	0.0		0.0	0.0		
6	0.8		3.3	0.5		
8	2.4		10.0	1.6		
1.710	4.0		16.7	2.6		
2	5.6		23.3	3.7		
4	7.2		30.0	4.7		
6	8.8		36.7	5.8		
8	10.4		43.3	6.8		
1.720	12.0		50.0	7.9		
2	13.6		56.7	9.0		
4	15.2		63.3	10.0		
6	16.8		70.0	11.1		
8	18.4		76.7	12.1		
1.730	20.0		83.3	13.2		
2	21.6		90.0	14.2		
4	23.2		96.7	15.3		
6	24.8	1.1		16.3	0.6	
8	26.4	3.2		17.4	1.9	
1.740	28.0	5.3		18.4	3.1	
2	29.6	7.4		19.5	4.4	
4	31.2	9.5		20.5	5.6	
6	32.8	11.6		21.6	6.9	
8	34.4	13.7		22.6	8.1	
1.750	36.0	15.8		23.7	9.4	
2	37.6	17.9		24.7	10.6	
4	39.2	20.0		25.8	11.9	
6	40.8	22.1		26.8	13.1	
8	42.4	24.2		27.9	14.4	
1.760	44.0	26.3		29.0	15.6	
2	45.6	28.4		30.0	16.9	
4	47.2	30.5		31.1	18.1	
6	48.8	32.6		32.1	19.4	
8	50.4	34.7		33.2	20.6	

	1	2	3	4	5	6
n_{Na}	Pyrop-Almandin Mol % Alm.	Grossular-Almandin Mol % Alm.	Pyrop-Grossular Mol % Gro.	Pyrop-Andradit Mol % And.	Grossular-Andradit Mol % And.	Almandin-Andradit Mol % And.
1.770	52.0	36.8		34.2	21.9	
2	53.6	39.0		35.3	23.1	
4	55.2	41.1		36.3	24.4	
6	56.8	43.2		37.4	25.6	
8	58.4	45.3		38.4	26.9	
1.780	60.0	47.4		39.5	28.1	
2	61.6	49.5		40.5	29.4	
4	63.2	51.6		41.6	30.6	
6	64.8	53.7		42.6	31.9	
8	66.4	55.8		43.7	33.1	
1.790	68.0	57.9		44.7	34.4	
2	69.6	60.0		45.8	35.6	
4	71.2	62.1		46.8	36.9	
6	72.8	64.2		47.9	38.1	
8	74.4	66.3		49.0	39.4	
1.800	76.0	68.4		50.0	40.6	
2	77.6	70.5		51.1	41.9	
4	79.2	72.6		52.1	43.1	
6	80.8	74.7		53.2	44.4	
8	82.4	76.8		54.2	45.6	
1.810	84.0	79.0		55.3	46.9	
2	85.6	81.1		56.3	48.1	
4	87.2	83.2		57.4	49.4	
6	88.8	85.3		58.4	50.6	
8	90.4	87.4		59.5	51.9	
1.820	92.0	89.5		60.5	53.1	
2	93.6	91.6		61.6	54.4	
4	95.2	93.7		62.6	55.6	
6	96.8	95.8		63.7	56.9	
8	98.4	97.9		64.7	58.1	
1.830	100.0	100.0		65.8	59.4	0.0
2				66.8	60.6	3.1
4				67.9	61.9	6.2
6				68.9	63.1	9.2
8				70.0	64.4	12.3
1.840				71.1	65.6	15.4
2				72.1	66.9	18.5
4				73.2	68.1	21.5
6				74.2	69.4	24.6
8				75.3	70.6	27.7

	1	2	3	4	5	6
n_{Na}	Pyrop-Almandin Mol % Alm.	Grossular-Almandin Mol % Alm.	Pyrop-Grossular Mol % Gro.	Pyrop-Andradit Mol % And.	Grossular-Andradit Mol % And.	Almandin-Andradit Mol % And.
1.850				76.3	71.9	30.8
2				77.4	73.1	33.9
4				78.4	74.4	36.9
6				79.5	75.6	40.0
8				80.5	76.9	43.1
1.860				81.6	78.1	46.2
2				82.6	79.4	49.2
4				83.7	80.6	52.3
6				84.7	81.9	55.4
8				85.8	83.1	58.5
1.870				86.8	84.4	61.5
2				87.9	85.6	64.6
4				89.0	86.9	67.7
6				90.0	88.1	70.8
8				91.1	89.4	73.9
1.880				92.1	90.6	76.9
2				93.2	91.9	80.0
4				94.2	93.1	83.1
6				95.3	94.4	86.2
8				96.3	95.6	89.2
1.890				97.4	96.9	92.3
2				98.4	98.1	95.4
4				99.5	99.4	98.5
6				100.0	100.0	100.0
8						

IV. Flächen gleicher Dispersion der Lichtbrechung im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

W. E. Ford (Lit. 4) errechnete die Lichtbrechung der theoretischen reinen Endglieder der Granatgruppe nur für Natriumlicht.

Während Pyrop und Grossular keine großen Unterschiede bezüglich der Dispersion aufweisen, ist die Dispersion bei Almandin recht deutlich, und bei Andradit sogar beträchtlich höher als bei Pyrop und Grossular, es steigt die Dispersion mit der Lichtbrechung.

Eine Tabelle in Rosenbusch-Wülfings Mikroskopischer Physiographie der Mineralien und Gesteine unterrichtet über die Dispersion, wie sie an natürlich vorkommenden Endgliedern gemessen wurde. Da diese Tabelle jedoch nicht die chemische Zusammensetzung der gemessenen Granate angibt, und daher nicht erkennen läßt, wie weit diese natürlichen Endglieder noch von den theoretischen entfernt sind, sei hier eine Tabelle mitgeteilt, die die Dispersionswerte und die genaue chemische Zusammensetzung enthält (cf. Tab. III).

Tabelle III.

Dispersion der Lichtbrechung, gemessen an natürlichen Endgliedern der Granatgruppe.

Nr.	Pyrop	Grossular	Almandin	Andradit	Spessartin	Uwarowit	Lichtbrechung		Dispersion	
1	59.5	8	27	—	1	4.5	n_{Li}	1.7459	45	86
							n_{Na}	1.7504	41	
							n_{Tl}	1.7545		
2	3	92	4.5	—	0.5	—	n_{Li}	1.7399	42	83
							n_{Na}	1.7441	41	
							n_{Tl}	1.7482		
3	20.5	—	70.1	4.8	4.6	—	n_{Li}	1.7910	54	103
							n_{Na}	1.7964	49	
							n_{Tl}	1.8013		
4	1	1	1	91.5	1	4.5	n_{Li}	1.8767	109	232
							n_{Na}	1.8876	123	
							n_{Tl}	1.8999		

1. Granat Kimberley, chemische Analyse von E. Fischer (Lit. 2, S. 150 II). Bestimmung der Lichtbrechung von Wülfing (Lit. 10, S. 42).
2. Granat Auerbach (Bergstraße), chemische Analyse von Jannasch (Lit. 5, S. 101). Bestimmung der Lichtbrechung von Wülfing (Lit. 10, S. 42).
3. Granat Gadernheim (Odenwald), chemische Analyse von E. Rost-Hoffmann (Lit. 6, S. 20). Bestimmung der Lichtbrechung von Wülfing (Lit. 6 S. 21).
4. Granat Ural, chemische Analyse und Bestimmung der Lichtbrechung von M. Seebach (Lit. 11, S. 26ff.).

Die Dispersion der theoretischen reinen Endglieder wurde aus den Werten der Tabelle III, aus anderen Werten der Literatur und aus eigenen Messungen (Tabellen VI und VII) unter Vernachlässigung der vierten Dezimale graphisch ermittelt (s. Tabelle IV).

Tabelle IV.

Dispersion der Lichtbrechung für die theoretischen reinen Endglieder der Granatgruppe (graphisch ermittelt).

1.	Pyrop	n_{Li}	1.701	4	8
		n_{Na}	1.705	4	
		n_{Tl}	1.709		

Tabelle IV (Fortsetzung).

2.	Grossular	n_{Li} 1.731 n_{Na} 1.735 n_{Tl} 1.739	4 8 4
3.	Almandin	n_{Li} 1.825 n_{Na} 1.830 n_{Tl} 1.835	5 10 5
4.	Andradit	n_{Li} 1.883 n_{Na} 1.895 n_{Tl} 1.907	12 24 12

Wie weit eine Bestimmung der Dispersion einen Schluß auf die chemische Zusammensetzung gestattet, zeigt die Tabelle V.

Tabelle V.

Dispersionsunterschiede bei gleichem n_{Na}-Wert für vier binäre Mischungen. (Ergebnis graphischer Ermittlung.)

Nr.	Pyrop	Grossular	Almandin	Andradit	Lichtbrechung	Dispersion
1	50	—	50	—	n_{Li} 1.762$_5$ n_{Na} 1.767 n_{Tl} 1.771$_5$	4$_5$ 9 4$_5$
2	—	80	—	20	n_{Li} 1.761$_5$ n_{Na} 1.767 n_{Tl} 1.772$_5$	5$_5$ 11 5$_5$
3	—	66	34	—	n_{Li} 1.762$_5$ n_{Na} 1.767 n_{Tl} 1.771$_5$	4$_5$ 9 4$_5$
4	67	—	—	33	n_{Li} 1.760 n_{Na} 1.767 n_{Tl} 1.774	7 14 7

Es sind für den Brechungsexponenten n_{Na} 1.767 die Molprozente der möglichen binären Mischungen, nämlich Pyrop + Almandin, Grossular + Andradit, Grossular + Almandin und Pyrop + Andradit und die zugehörigen Brechungexponenten für Lithium- und Thalliumlicht ermittelt.

Durch Dispersionsmessungen können danach gewisse Mischungen Grossular + Andradit von gewissen Mischungen Pyrop + Almandin, deren Brechungsexponenten n_{Na} gleich oder fast gleich sind, unterschieden werden. Die zwei Mischungen 66 Grossular + 34 Almandin und 67 Pyrop + 33 Andradit haben nur theoretisches Interesse, da sie in die Mischungslücke fallen.

Die Flächen gleicher Dispersion $n_{Li} - n_{Tl}$ sind für das System Pyrop + Grossular + Almandin + Andradit in der Fig. 5 gezeichnet. Die Figur läßt erkennen, in welchen Fällen es möglich ist, die Dispersion der Lichtbrechung zur Diagnose quaternärer Granate zu verwerten.

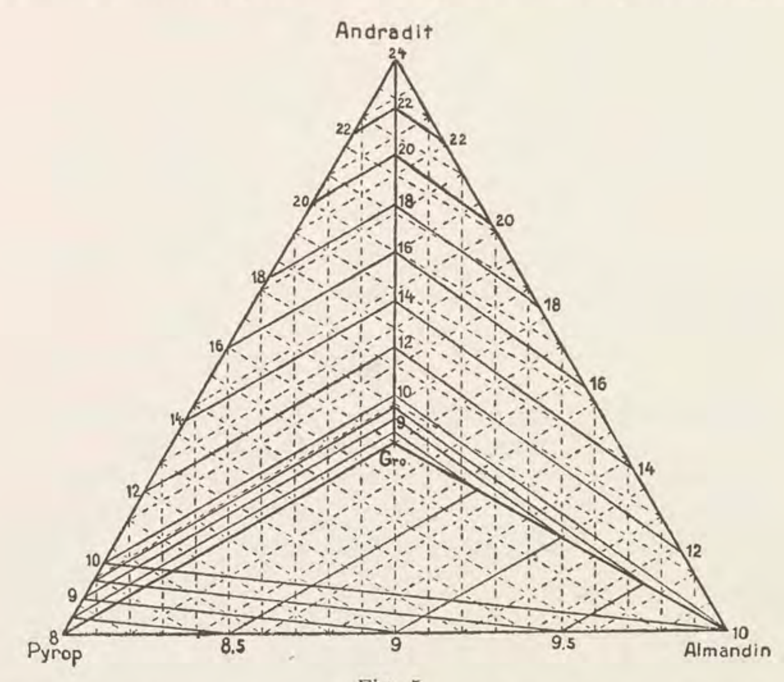


Fig. 5.
Flächen gleicher Dispersion ($n_{Li} - n_{Tl}$) im quaternären System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

Ein Diagramm für die Dispersion $n_{rot} - n_{blau}$ würde genauere Ermittlungen zulassen. Doch ist es bei tiefgefärbten Granaten nicht immer möglich, die Lichtbrechung für blau zu messen. An den Prismen, an denen die Messung für 470 $\mu\mu$ noch möglich war, wurde sie vom Verfasser ausgeführt (vgl. Tab. VII).

In der Tabelle VI sind Dispersionsmessungen an vier gesteinsbildenden Granaten mit Pyrop, Almandin, Grossular und Andradit nach neuen Messungen und Analysen des Verfassers (das Gesteinspulver wurde mit Clerici-Lösung getrennt) verzeichnet. Die Dispersion der Granate Nr. 1 und 2 ist etwas kleiner als sie nach dem Diagramm der Fig. 5 sein sollte. (Würde man den Andraditgehalt von 4 und 3 Molprozent als Grossular verrechnen, dann erhielte man die Werte des Diagramms). Bei den Granaten 3 und 4 herrscht gute Übereinstimmung zwischen Messung und Diagramm.

Tabelle VI.

Dispersion der Lichtbrechung für vier Mischgranate.

(Neue Analysen und Messungen des Verfassers.)

Nr.	Pyrop	Almandin + Spessartin	Grossular	Andradit	Lichtbrechung	Dispersion	
					n_{Li} 1.7449		
						44	
1	60	24	12	4	n_{Na} 1.7493		85
						41	
					n_{Tl} 1.7534		
					n_{Li} 1.7620	43	
							86
2	31	41.5	24.5	3	n_{Na} 1.7663	43	
					n_{Tl} 1.7706		
					n_{Li} 1.7690		
						49	
3	20	49.5	27	3.5	n_{Na} 1.7739		92
						43	
					n_{Tl} 1.7782		
					n_{Li} 1.7798		
						56	
4	18.5	48.5	26.5	6.5	n_{Na} 1.7854		100
						44	
					n_{Tl} 1.7898		

1. Granat aus Eklogit Zöblitz (Erzgebirge).
2. Granat aus Eklogit Böhrigen (Sachsen).
3. Granat aus Eklogit Weißenstein (Fichtelgebirge).
4. Granat aus Amphibolit Waldheim (Sachsen).

Dispersionsmessungen wurden im ganzen an 30 Granaten aus 16 verschiedenen Gesteinen gemacht, es wurden mit einigen Ausnahmen von jedem Granat zwei Prismen geschliffen. Von einem Teil dieser Granate wurden auch im Verlauf petrographischer Untersuchungen noch Teil- oder Vollanalysen ausgeführt, worüber an anderer Stelle berichtet werden wird. Das Ergebnis der Dispersionsmessungen ist in der Tabelle VII zusammengestellt.

Die Brechungsexponenten wurden mittels sehr kleiner Granatprismen (1 mm und kleiner) am großen einkreisigen Goniometer von Fueß mit dem großen Wülfingschen Monochromator bestimmt. Die Prismen wurden so klein wie möglich geschliffen, weil erstens die Feinkörnigkeit eines Teils der Gesteine dazu zwang und zweitens auch nur sehr kleine Prismen meßbar waren, da größere zu viel Spaltrisse hatten. Das Schleifen derartig kleiner Prismen wird am besten an einem Wülfingschen Schleifapparat ausgeführt. Das Granatkörnchen wird durch ein kurzes Erwärmen in die Spitze eines Kegels aus Canadabalsam eingeschmolzen. Das Schleifen und Polieren eines Körnchens von etwa 1 mm Größe ist in drei Minuten durchgeführt. Zum Anschleifen der zweiten Fläche wird das Körnchen herausgenommen und wieder neu eingeschmolzen. Bei sehr kleinen Körnchen muß dabei die Größe des Prismenwinkels

dem Zufall überlassen werden. Wird ein zu großer oder zu kleiner Winkel getroffen, so wird eine dritte oder auch noch vierte Fläche angeschliffen, bis ein brauchbares Prisma entsteht.

Da zuweilen Prismen mit sehr kleinen Winkeln entstanden, wurde zur Kontrolle der dann noch erreichbaren Genauigkeit ein Bergkristallprisma mit einem Prismenwinkel von 8⁰ (Größe 1 mm) hergestellt. Die an ihm gemessenen Werte stimmen mit den von Mertens (Landolt-Börnstein) beobachteten vollständig überein.

Bergkristall.

	beobachtet	nach Mertens
$\omega\ n_{Li}$	1.5414	1.5414
$\omega\ n_{Na}$	1.5442	1.54420
$\omega\ n_{Tl}$	1.5470	1.54680 (*Cd* 533)
φ:	8⁰ 51′ 20″	

Die Mikromethode bedeutet auch hier keine Verringerung der Genauigkeit, wohl aber eine große Zeitersparnis, denn das Schleifen der kleinen Prismen nimmt nur einige Minuten in Anspruch.

Die Mikroprismenmethode, die der Einbettungsmethode durch eine größere Genauigkeit und durch die Leichtigkeit von Dispersionsmessungen überlegen ist, dürfte sich nicht nur für optisch isotrope, sondern gelegentlich auch für optisch einachsige Minerale empfehlen.

Tabelle VII.

Dispersionsmessungen an gesteinsbildenden Granaten.

(φ = Prismenwinkel).

1. Granat aus Eklogit Zöblitz (Erzgeb.).

	Prisma I			Prisma II			Prisma III		
n_{Li}	1.7452			1.7446			1.7448		
		44			44			43	
n_{Na}	1.7496		86	1.7490		89	1.7491		80
		42			45			37	
n_{Tl}	1.7538			1.7535			1.7528		
φ	41⁰ 20′ 52″			43⁰ 46′ 29″			43⁰ 7′ 10″		

2. Granat aus Eklogit Weißenstein (Fichtelgeb.).

	Prisma I			Prisma II		
n_{Li}	1.7678			1.7703		
		51			47	
n_{Na}	1.7729		94	1.7750		90
		43			43	
n_{Tl}	1.7772			1.7793		
φ	19⁰ 19′ 57″			29⁰ 30′ 53″		

3. Granat aus Klinopyroxeneklogit Rubinberg (sächs. Granulitgeb.).

	Handstück a		Handstück b	
	Prisma I	Prisma II	Prisma I	Prisma II
n_{Li}	1.7632	1.7604	1.7567	1.7579
	19	39	46	47
n_{Na}	1.7651 78	1.7643 80	1.7613 89	1.7626 89
	59	41 190	43	42
n_{Tl}	1.7710	1.7684 110	1.7656	1.7668
		69		
$n_{470\,\mu\mu}$	—	1.7753	—	—
φ	11° 36′ 7″	21° 9′ 0″	37° 39′ 25″	27° 15′ 20″

4. Granat aus Klinopyroxenfeldspateklogit Böhrigen (sächs. Granulitgeb.).

	Prisma I	Prisma II
n_{Li}	1.7620	1.7608
	43	50
n_{Na}	1.7663 86	1.7658 86
	43	36
n_{Tl}	1.7706	1.7694
φ	23° 15′ 30″	18° 34′ 15″

5. Granat aus Pyroxengranulit Hartmannsdorf (sächs. Granulitgeb.).

	Prisma I	Prisma II
n_{Li}	1.7623	1.7616
	47	36
n_{Na}	1.7670 89	1.7652 87
	42	51
n_{Tl}	1.7712	1.7703
φ	36° 23′ 8″	6° 57′ 55″

6. Granat aus Granatamphibolit Waldheim (sächs. Granulitgeb.).

	Prisma I	Prisma II
n_{Li}	1.7798	1.7777
	56	52
n_{Na}	1.7854 100	1.7829 101
	44 272	49
n_{Tl}	1.7898 172	1.7878
	128	
$n_{436\,\mu\mu}$	1.8026	—
φ	18° 39′ 37″	17° 35′ 56″

7. Granat aus Cordieritgranatgneis Gut Bhf. Mohsdorf (sächs. Granulitgeb.).

	Handstück a	Handstück b		
	Prisma I	Prisma I	Prisma II	Prisma III
n_{Li}	1.8079	1.7963	1.7981	
	56	55	49	
n_{Na}	1.8135 94	1.8018 100	1.8030 97	1.8000
	38	45	48	
n_{Tl}	1.8173	1.8063	1.8078	
φ	11° 40′ 35″	37° 45′ 27″	35° 43′ 23″	37° 46′ 8″

8. Granat aus Cordieritgranatgneis Schönborn (sächs. Granulitgeb.).

n_{Li}	1.7965
	52
n_{Na}	1.8017 97
	45 217
n_{Tl}	1.8062 120
	75
$n_{470\,\mu\mu}$	1.8137
φ	53° 42′ 52″

9. Granat aus Granatgneis Bhf. Mohsdorf (sächs. Granulitgeb.).

n_{Li}	1.7793
	38
n_{Na}	1.7831 87
	49
n_{Tl}	1.7880
φ	24° 46′ 20″

10. Granat aus Granulit (Weisstein) Arrasmühle (sächs. Granulitgeb.).

	Prisma I		Prisma II
n_{Li}	1.7907	n_{Li}	1.7905
	49		43
n_{Na}	1.7956 96	n_{Na}	1.7948 92
	47 221		49
n_{Tl}	1.8003 125	n_{Tl}	1.7997
	78		
$n_{470\,\mu\mu}$	1.8081		—
φ	40° 42′ 7″	φ	25° 55′ 17″

11. Granat aus Granulit (Weißstein) Massanei (sächs. Granulitgeb.).

n_{Li}	1.7802
	39
n_{Na}	1.7841 88
	49
n_{Tl}	1.7890
φ	25° 16′ 16″

12. Granat aus Serpentin Zöblitz (Erzgeb.).

n_{Li}	1.7422
	44
n_{Na}	1.7466 85
	41 198
n_{Tl}	1.7507 113
	72
$n_{470\,\mu\mu}$	1.7579
φ	37° 1′ 15″

13. Granat aus Serpentin Flöhageb. (Sachsen).

n_{Li}	1.7382			
		43		
n_{Na}	1.7425		78	
		35		190
n_{Tl}	1.7460		112	
		77		
$n_{470\,\mu\mu}$	1.7537			
φ	41° 47′ 32″			

14. Granat aus Serpentin Hutha (Sachsen).

n_{Li}	1.7435			
		47		
n_{Na}	1.7482		85	
		38		189
n_{Tl}	1.7520		104	
		66		
$n_{470\,\mu\mu}$	1.7586			
φ	21° 22′ 40″			

15. Granat aus Serpentin Bohrberg (sächs. Granulitgeb.).

	Handstück a					Handstück b		
n_{Li}	1.7376				n_{Li}	1.7454		
		47					41	
n_{Na}	1.7423		85		n_{Na}	1.7495		85
		38		195			44	
n_{Tl}	1.7461		110		n_{Tl}	1.7539		
		72						
$n_{470\,\mu\mu}$	1.7533							
φ	9° 52′ 28″				φ	31° 31′ 10″		

16. Granat aus Serpentin Naundorf (sächs. Granulitgeb.)

n_{Li}	1.7383		
		41	
n_{Na}	1.7424		79
		38	
n_{Tl}	1.7462		
φ	22° 32′ 20″		

V. Flächen gleicher Dichte im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

Außer von W. E. Ford wurde die Dichte der theoretischen reinen Endglieder auch noch von C. H. Stockwell (Lit. 12) errechnet, und zwar aus den Ergebnissen röntgenographischer Untersuchung. Es bestehen recht erhebliche Unterschiede zwischen den Werten der beiden Autoren (vgl. Tab. VIII). Die Zahlen von C. H. Stockwell sind im Durchschnitt um etwa 0.06, beim Andradit sogar um den doppelten Betrag höher als die Zahlen von W. E. Ford.

In quaternären Diagrammen, die für die Werte beider Autoren gezeichnet wurden, wurden die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung ermittelt. Bezüglich der Werte von W. E. Ford wurde an Analysen, die später als die Untersuchung W. E.

Fords veröffentlicht wurden, festgestellt, daß die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung bei weitem nicht so gut ist, wie bei den Werten der Lichtbrechung. Die Zahl der errechneten *d*-Werte, die höher als die gemessenen sind, ist etwas größer als die Zahl der errechneten *d*-Werte, die niedriger als die gemessenen sind. Es muß mit einer Spanne von 0.04 zwischen Messung und Diagrammwert gerechnet werden. Das ist dieselbe Zahl, wie sie auch W. E. Ford für die ihm damals zur Verfügung stehenden Analysen gefunden hat.

Tabelle VIII.

Dichte der reinen Granatkomponenten.

a) nach W. E. Ford, b) nach C. H. Stockwell.

	a	b	Diff.
Pyrop	3.510	3.571	0.061
Grossular	3.530	3.598	0.068
Spessartin	4.180	4.229	0.049
Almandin	4.250	4.332	0.082
Andradit	3.750	3.882	0.132

Was die von C. H. Stockwell für die theoretischen Endglieder angegebenen Dichtewerte betrifft, so sind die gemessenen Werte alle niedriger als die, die aus einem mit seinen Daten konstruierten Diagramm abgelesen wurden. Da für diesen Vergleich auch die bei W. E. Ford zitierten Analysen herangezogen wurden, konnten die Werte von über 30 Analysen verglichen werden. Die Unterschiede sind so groß, daß sie nicht auf die Fehler zurückgeführt werden können, die dadurch entstehen, daß die natürlichen Granatkristalle meistens zahllose Sprünge haben, die die beobachtete Dichte niedriger erscheinen lassen. Gerade mit Rücksicht hierauf wurde vom Verfasser zur Dichtebestimmung mittels schwerer Lösung nur derartig fein gepulvertes Material verwendet, daß die einzelnen Körnchen keine Sprünge mehr zeigten. Auch die mit solchem Granatpulver erzielten Daten der Dichten entsprechen nicht den Werten C. H. Stockwells.

Die Ursachen für die Schwierigkeiten, zu einer befriedigenden Übereinstimmung zwischen gemessenen und errechneten Dichten zu gelangen, liegen hauptsächlich in folgendem:

Sehr häufig — auch bei den in neuerer Zeit veröffentlichten Granatanalysen mit Dichteangaben — fehlt der Hinweis, auf welche definierte Dichte die gemachten Angaben sich beziehen. Dadurch ist es unmöglich, alle Angaben auf eine bestimmte definierte Dichte umzurechnen. Von L. Ahlers (Lit. 1) sind gelegentlich seiner Untersuchung der Dichte von Quarz und Feldspat die verschiedenen Definitionen der Dichte erörtert und Vorschläge für eine geeignete Bezeichnungsweise gemacht worden. Die hohe Dichte der Granatgruppe bedingt, daß die Unterschiede zwischen den auf verschiedene Definitionen bezogenen Werten mehrere Einheiten in der dritten Dezimale ausmachen können.

Zweitens kommt in Betracht, daß die Genauigkeit der Dichtebestimmungen (im Gegensatz zur Bestimmung der Lichtbrechung) erheblich leidet, wenn das Material nicht ganz rein ist.

Drittens ist für viele Angaben in der Literatur fraglich, ob die Dichtebestimmung an dem Pulver gemacht wurde, das zur chemischen Analyse diente.

Sehr beträchtliche Unterschiede zwischen der eigentlichen Dichte eines Granats, der analysiert wurde, und der Messung können entstehen, falls man, wie es vielfach üblich ist, die Dichte an einzelnen als besonders rein und groß ausgesuchten Kristallkörnern mit der Schwebemethode bestimmt. Die Dichtebestimmung muß unbedingt an dem zur Analyse verwendeten Pulver vorgenommen werden.

Da man neuerdings durch Verwendung von Clerici-Lösung imstande ist, auch den spezifisch sehr schweren Granat völlig rein zu isolieren, kann man hoffen, daß es,

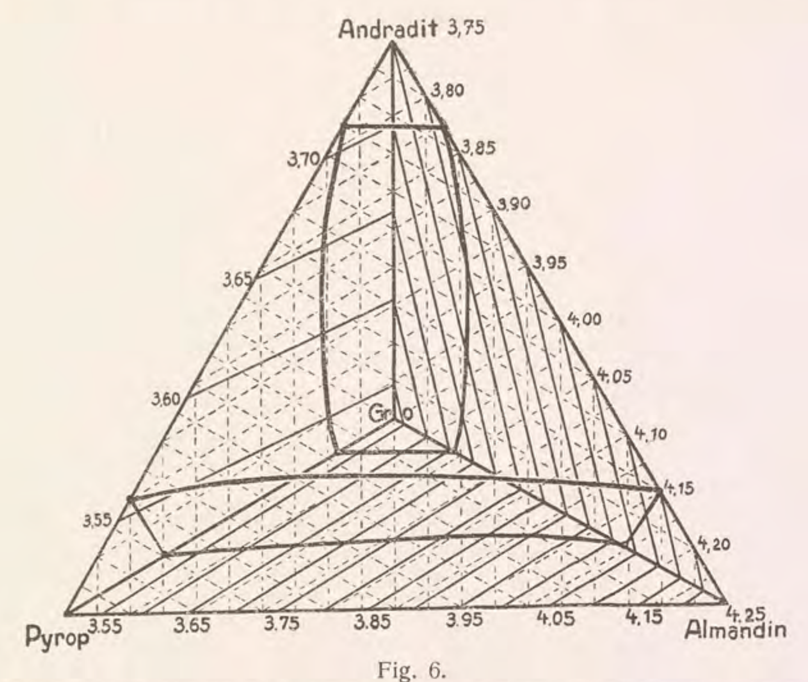


Fig. 6.
Flächen gleicher Dichte im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

sobald eine größere Zahl neuer Analysen und exakter Dichtebestimmungen vorliegt, möglich sein wird, die wahren Dichtewerte der theoretischen reinen Endglieder in der Granatgruppe zu errechnen.

Schließlich muß auch erwogen werden, ob es für die Granatgruppe erlaubt ist, die Linien gleicher Dichte im 3-Stoffsystem als Gerade (wie es Ford getan hat), und die Flächen gleicher Dichte im 4-Stoffsystem als Ebenen (wie es hier geschieht) zu zeichnen.

In der Fig. 6 sind die Flächen gleicher Dichte nach den Werten von Ford gezeichnet. Bezüglich der Handhabung des Diagramms sei auf das beim Diagramm der Flächen gleicher Lichtbrechung Ausgeführte hingewiesen.

Wie für die Flächen gleicher Lichtbrechung wird auch für die Flächen gleicher Dichte eine Tabelle (IX) angefügt, die das Zeichnen eines Diagramms in großem Maßstabe gestattet.

Tabelle IX.

Werte der Dichte für die sechs binären Teilsysteme des quaternären Systems Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

	1	2	3	4	5	6
d	Pyrop-Almandin Mol% Alm.	Grossular-Almandin Mol% Alm.	Andradit-Almandin Mol% Alm.	Pyrop-Andradit Mol% And.	Grossular-Andradit Mol% And.	Pyrop-Grossular Mol% Gro.
3.51	0.0			0.0		0.0
2	1.3			4.2		50.0
3	2.7	0.0		8.3	0.0	100.0
4	4.0	1.4		12.5	4.5	
3.55	5.4	2.8		16.7	9.1	
6	6.8	4.2		20.8	13.6	
7	8.1	5.5		25.0	18.2	
8	9.5	6.9		29.2	22.7	
9	10.8	8.3		33.3	27.3	
3.60	12.2	9.7		37.5	31.8	
1	13.5	11.1		41.7	36.4	
2	14.9	12.5		45.8	40.9	
3	16.2	13.9		50.0	45.4	
4	17.6	15.3		54.2	50.0	
3.65	18.9	16.7		58.3	54.5	
6	20.3	18.0		62.5	59.1	
7	21.6	19.4		66.7	63.6	
8	23.0	20.8		70.8	68.2	
9	24.3	22.2		75.0	72.7	
3.70	25.7	23.6		79.2	77.3	
1	27.0	25.0		83.3	81.8	
2	28.4	26.4		87.5	86.4	
3	29.8	27.8		91.7	90.9	
4	31.1	29.2		95.8	95.5	
3.75	32.4	30.5	0.0	100.0	100.0	
6	33.8	31.9	2.0			
7	35.1	33.3	4.0			
8	36.5	34.7	6.0			
9	37.8	36.1	8.0			
3.80	39.2	37.5	10.0			
1	40.5	38.9	12.0			
2	41.9	40.3	14.0			
3	43.2	41.7	16.0			
4	44.6	43.0	18.0			
3.85	45.9	44.4	20.0			
6	47.3	45.8	22.0			
7	48.6	47.2	24.0			
8	50.0	48.6	26.0			
9	51.3	50.0	28.0			

	1	2	3	4	5	6
d	Pyrop-Almandin Mol% Alm.	Grossular-Almandin Mol% Alm.	Andradit-Almandin Mol% Alm.	Pyrop-Andradit Mol% And.	Grossular-Andradit Mol% And.	Pyrop-Grossular Mol% Gro.
3.90	52.7	51.4	30.0			
1	54.0	52.8	32.0			
2	55.4	54.2	34.0			
3	56.8	55.6	36.0			
4	58.1	56.9	38.0			
3.95	59.5	58.3	40.0			
6	60.8	59.7	42.0			
7	62.2	61.1	44.0			
8	63.5	62.6	46.0			
9	64.9	63.9	48.0			
4.00	66.2	65.3	50.0			
1	67.6	66.7	52.0			
2	68.9	68.0	54.0			
3	70.3	69.4	56.0			
4	71.6	70.8	58.0			
4.05	73.0	72.2	60.0			
6	74.3	73.6	62.0			
7	75.7	75.0	64.0			
8	77.0	76.4	66.0			
9	78.4	77.8	68.0			
4.10	79.7	79.2	70.0			
1	81.1	80.5	72.0			
2	82.4	81.9	74.0			
3	83.8	83.3	76.0			
4	85.1	84.7	78.0			
4.15	86.5	86.1	80.0			
6	87.8	87.5	82.0			
7	89.2	88.9	84.0			
8	90.5	90.3	86.0			
9	91.9	91.7	88.0			
4.20	93.2	93.0	90.0			
1	94.6	94.4	92.0			
2	95.9	95.8	94.0			
3	97.3	97.2	96.0			
4	98.6	98.9	98.0			
4.25	100.0	100.0	100.0			

VI. Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an FeO, MgO, CaO, Fe_2O_3 für das System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

Nach der theoretischen Formel des Granats wurden die Gewichtsprozentwerte einer großen Zahl in Molprozenten gegebener binärer Granate errechnet und aus ihnen für die ganzen Zahlen der Gewichtsprozente die Molprozentwerte graphisch ermittelt.

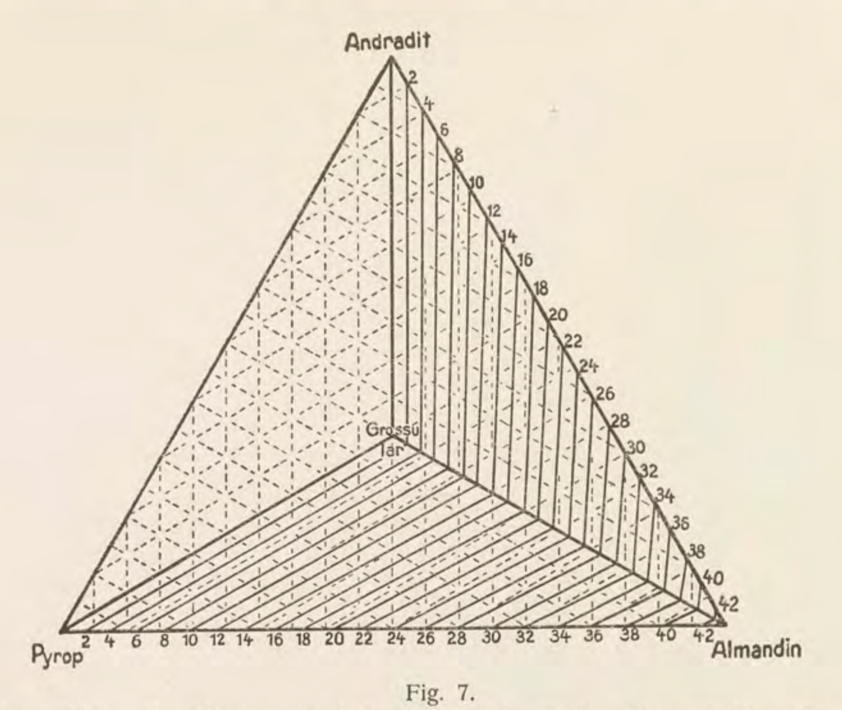


Fig. 7.
Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an *FeO* im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

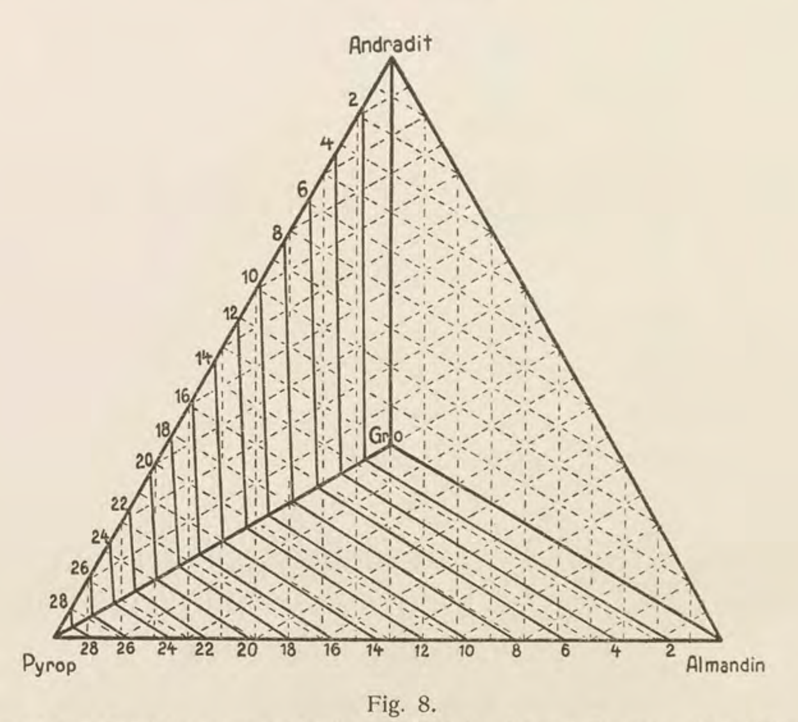


Fig. 8.
Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an *MgO* im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

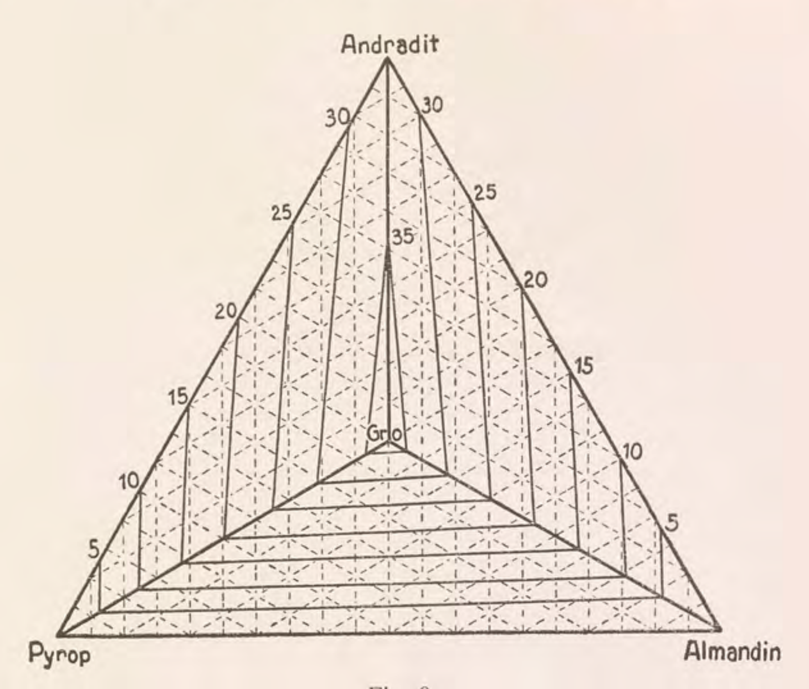


Fig. 9.
Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an *CaO* im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

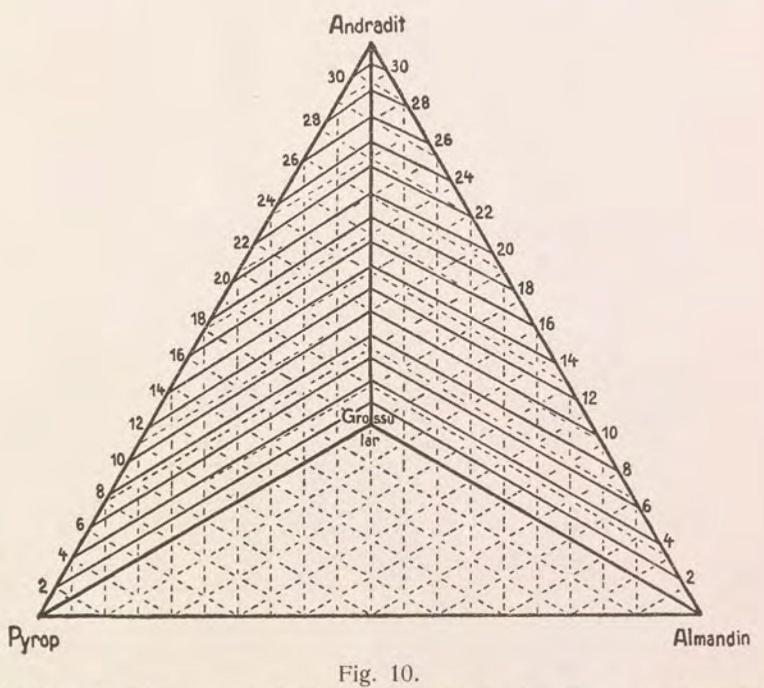


Fig. 10.
Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an Fe_2O_3 im System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit.

Das Ergebnis enthalten die Tabellen X bis XIII (S. 28 bis 31). Die Genauigkeit beträgt 2—3 Einheiten in der ersten Dezimale. Mit den Zahlen dieser Tabellen sind die Figuren 7—10, die die Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an *FeO*, *MgO*, *CaO* und Fe_2O_3 für das System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit darstellen, gezeichnet. Die Tabellen enthalten die Werte für die ganzzahligen Gewichtsprozente, in den Figuren ist nur ein Teil der Flächen gezeichnet.

Die Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes in einem Molprozentdiagramm sind Ebenen, die nicht in parallelen Scharen liegen.

Tabelle X.

Molprozente Almandin zum Zeichnen der FeO-Flächen.

Gew.-% FeO	Alm.-Pyr. Mol% Alm.	Alm.-Gro. Mol% Alm.	Alm.-And. Mol% Alm.
1	1.9	2.1	2.3
2	3.8	4.3	4.6
3	5.7	6.5	7.0
4	7.6	8.6	9.3
5	9.6	10.7	11.7
6	11.6	12.8	14.1
7	13.6	15.0	16.4
8	15.6	17.1	18.8
9	17.6	19.2	21.2
10	19.6	21.4	23.5
11	21.6	23.6	25.8
12	23.7	25.9	28.1
13	25.8	28.1	30.4
14	27.9	30.3	32.7
15	30.0	32.6	35.0
16	32.2	34.8	37.4
17	34.4	37.1	39.7
18	36.7	39.4	42.1
19	39.0	41.6	44.4
20	41.2	43.9	46.7
21	43.4	46.2	49.0
22	45.6	48.5	51.4
23	47.9	50.8	53.7
24	50.2	53.2	56.0
25	52.6	55.6	58.4
26	55.1	57.9	60.7
27	57.6	60.2	63.0
28	60.0	62.6	65.3
29	62.5	65.0	67.6
30	65.0	67.5	69.8
31	67.5	70.0	72.1
32	70.0	72.3	74.3
33	72.5	74.7	76.6
34	75.0	77.0	78.9
35	77.5	79.4	81.2

Tabelle X (Fortsetzung).

Gew.-% FeO	Alm.-Pyr. Mol% Alm.	Alm.-Gro. Mol% Alm.	Alm.-And. Mol% Alm.
36	80.0	81.9	83.6
37	82.7	84.4	85.9
38	85.5	86.8	88.2
39	88.2	89.3	90.5
40	91.0	91.9	92.7
41	93.8	94.4	95.0
42	96.6	96.9	97.3
43	99.4	99.4	99.6

Tabelle XI.

Molprozente Pyrop zum Zeichnen der MgO-Flächen.

Gew.-% MgO	Pyr.-Gro. Mol% Pyr.	Pyr.-Alm. Mol% Pyr.	Pyr.-And. Mol% Pyr.
1	3.7	4.0	4.2
2	7.4	8.0	8.3
3	11.0	12.0	12.3
4	14.6	16.0	16.2
5	18.2	20.0	20,0
6	21.8	23.7	23.9
7	25.4	27.4	27.7
8	28.9	31.1	31.5
9	32.4	34.7	35.1
10	35.8	38.3	38.7
11	39.3	41.8	42.2
12	42.7	45.2	45.6
13	46.0	48.6	49.0
14	49.4	52.0	52.4
15	52.8	55.4	55.7
16	56.2	58.7	59.0
17	59.5	62.0	62.2
18	62.7	65.2	65.4
19	66.0	68.2	68.5
20	69.2	71.2	71.6
21	72.4	74.3	74.6
22	75.6	77.3	77.6
23	78.8	80.3	80.6
24	81.9	83.2	83.5
25	85.0	86.1	86.3
26	88.2	89.0	89.1
27	91.2	91.9	91.9
28	94.2	94.7	94.7
29	97.2	97.4	97.4
29.9	99.9	100.0	100.0

Tabelle XII.

Molprozente Grossular und Andradit zum Zeichnen der CaO-Flächen.

Gew.-% CaO	Pyr.-Gro. Mol% Gro.	Pyr.-And. Mol% And.	Alm.-Gro. Mol% Gro.	Alm.-And. Mol% And.	Gro.-And. Mol% Gro.
1	2.4	2.5	2.9	3.0	
2	4.9	4.9	5.8	6.0	
3	7.3	7.4	8.7	9.0	
4	9.7	9.9	11.6	12.0	
5	12.2	12.4	14.5	15.0	
6	14.6	15.0	17.4	18.0	
7	17.1	17.6	20.2	21.0	
8	19.6	20.2	23.1	24.0	
9	22.1	22.9	26.0	27.0	
10	24.7	25.6	28.8	30.0	
11	27.2	28.3	31.6	33.0	
12	29.8	31.0	34.4	36.0	
13	32.4	34.0	37.2	39.0	
14	35.0	36.9	40.0	42.0	
15	37.6	39.7	42.7	45.0	
16	40.2	42.7	45.5	48.0	
17	42.8	45.7	48.1	51.0	
18	45.5	48.7	50.7	54.0	
19	48.1	51.5	53.4	57.0	
20	50.8	54.9	56.0	60.0	
21	53.5	58.1	58.6	63.0	
22	56.2	61.3	61.3	66.0	
23	59.0	64.5	64.0	69.0	
24	61.7	67.8	66.6	72.0	
25	64.5	71.1	69.2	75.0	
26	67.3	74.5	71.8	78.0	
27	70.1	77.9	74.4	81.0	
28	72.9	81.4	77.0	84.2	
29	75.7	85.0	79.5	87.4	
30	78.5	88.6	82.0	90.5	
31	81.4	92.3	84.5	93.6	
32	84.4	96.0	87.0	96.7	
33	87.4	99.8	89.5	99.8	
34	90.3		91.9		24.6
35	93.3		94.4		48.7
36	96.2		96.8		72.4
37	99.2		99.2		94.4

Tabelle XIII.

Molprozente Andradit zum Zeichnen der Fe_2O_3-Flächen.

Gew.-% Fe_2O_3	Pyr.-And. Mol% And.	Gro.-And. Mol% And.	Alm.-And. Mol% And.
1	2.4	2.9	3.1
2	5.0	5.8	6.3
3	7.6	8.6	9.4
4	10.3	11.5	12.5
5	13.0	14.4	15.6
6	15.7	17.4	18.8
7	18.5	20.3	21.9
8	21.3	23.2	25.0
9	24.1	26.2	28.2
10	27.0	29.2	31.4
11	29.9	32.2	34.6
12	32.9	35.3	37.8
13	35.9	38.4	40.9
14	39.0	41.6	44.0
15	42.1	44.8	47.2
16	45.3	48.0	50.5
17	48.5	51.2	53.7
18	51.7	54.5	56.9
19	55.0	57.7	60.0
20	58.3	60.9	63.2
21	61.6	64.2	66.4
22	65.0	67.6	69.6
23	68.5	71.0	72.8
24	72.1	74.3	76.0
25	75.7	77.6	79.3
26	79.3	81.0	82.6
27	83.0	84.5	85.8
28	86.8	88.0	89.0
29	90.6	91.6	92.2
30	94.4	95.0	95.4
31	98.3	98.6	98.6

VII. Beispiel einer graphischen Ermittlung im quaternären Diagramm.

Bei der graphischen Ermittlung eines quaternären Granats wird man als dritte Konstante neben Lichtbrechung und Dichte in Ermangelung anderer physikalischer Konstanten am zweckmäßigsten den Gewichtsprozentgehalt an *CaO* verwenden. Die *FeO*-Flächen liegen den Flächen gleicher Dichte annähernd parallel, sind also nicht günstig. Außerdem ist eine *FeO*-Bestimmung beim Granat, der in Flußsäure sehr

schwer aufschließt, eine langwierige Sache und gibt — verglichen mit den Bestimmungen von CaO und MgO — weniger zuverlässige Resultate.

Bekannt sei: $n = 1.790$, $d = 3.92$, $CaO = 9.5$ Gewichtsprozent. *ABCD* ist die Fläche für $n = 1.790$, *EFG* die Fläche für $d = 3.92$, *HJKL* die Fläche für $CaO = 9.5$ Gewichtsprozent (s. Fig. 11a). In *MN* schneiden einander die *n*- und *d*-Fläche, in *OP* die *n*- und *CaO*-Fläche, in *QR* die *CaO*- und *d*-Fläche. *MN*, *OP* und *QR* schneiden einander in *Z*, dem gesuchten quaternären Punkt. Um *Z* zu finden, ist nur ein kleiner Teil der Linien wirklich notwendig, die der Anschaulichkeit wegen in der Figur gezeichnet wurden.

Zum Ablesen der Koordinaten des Punktes *Z* ist CC_d als Parallele zur Tetraeder-

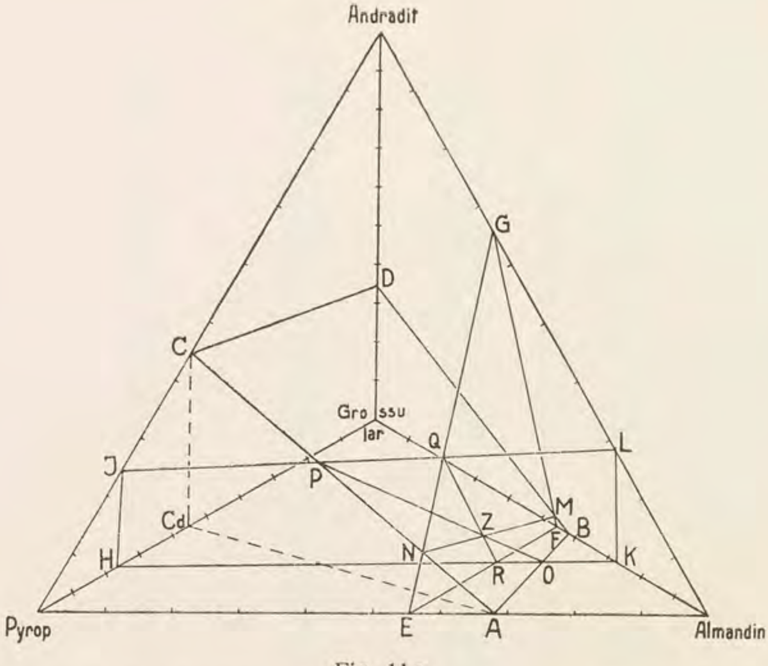


Fig. 11a.

Beispiel einer graphischen Ermittlung im quaternären Diagramm. Die drei Flächen *ABCD* für $n_{Na} = 1.790$, *EFG* für $d = 3.92$ und *HJKL* für $CaO = 9.5$ Gewichtsprozent schneiden einander im Punkte *Z*, dem darstellenden Raumpunkt des gesuchten quaternären Mischkristalls.

kante Grossular–Andradit gezogen und C_d mit *A* verbunden. Eine Parallele zur Tetraederkante Grossular–Andradit durch *P* schneidet C_dA in P_d (s. Fig. 11b). Die Linie *HK* läuft sehr nahe am Punkte P_d vorbei, geht aber nicht durch P_d, wie es nach der Figur den Anschein hat. Wird P_d mit *O* verbunden (s. Fig. 11b), so muß auf P_dO (der Projektion von *PO* auf die Tetraederfläche Pyrop–Almandin–Grossular) der Z_d-Punkt liegen und zwar dort, wo die durch *Z* parallel zur Tetraederkante Grossular–Andradit gehende Koordinatenlinie P_dO schneidet.

Z_dZ ist der Vektor des gesuchten quaternären Punktes und zugleich die Koordinate für Andradit. Z_dU ist die Koordinate für Pyrop, Grossular-Punkt *U* die Koordinate für Almandin. Der gesuchte Granat hat

20.5 Pyrop, 52.5 Almandin, 20 Grossular, 7 Andradit.

Für diese Molprozentwerte liest man in den Diagrammen der Fe_2O_3-, FeO-, MgO-Flächen (Fig. 7, 8, 10) ab:

2.4 Gew.-% Fe_2O_3, 24.1 Gew.-% FeO, 5.2 Gew.-% MgO.

Die Gewichtsprozente von SiO_2 und Al_2O_3, deren Molquotienten nun bekannt sind, entnimmt man den Tabellen der Molekularquotienten von H. v. Eckermann und erhält nachstehende Zusammensetzung:

	Gewichtsprozente	Molquotienten		Molprozente	
SiO_2	38.2	634.0	634	Pyrop	20.4
Al_2O_3	20.0	196.0	211	Almandin	52.9
Fe_2O_3	2.4	15.0		Grossular	19.6
FeO	24.1	355.4	634	Andradit	7.1
MgO	5.2	129.0			
CaO	9.5	169.4			
	99.4				

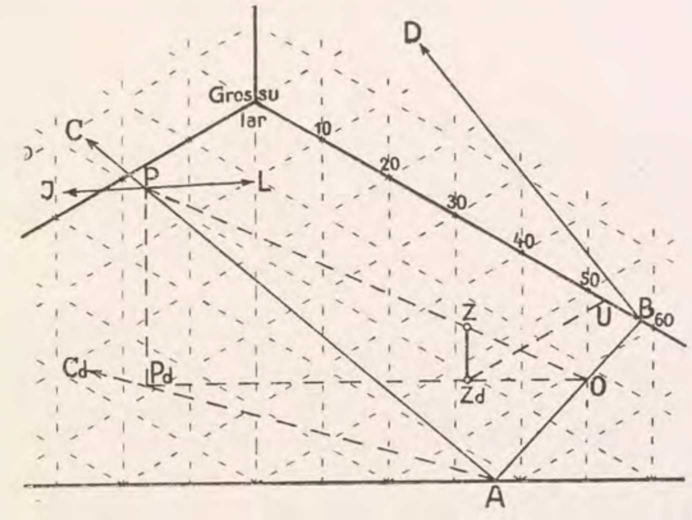


Fig. 11b.

Der Raumpunkt Z hat die Koordinaten Grossular-Punkt U = Almandin = 52.5. UZ_d = Pyrop = 20.5, Z_dZ = Andradit = 7, Rest zu 100 = Grossular = 20.

Wird die Dichte als Konstante verwendet, so darf man bei der Beurteilung der Genauigkeit der graphischen Ermittlung nicht vergessen, daß die Lage der Flächen gleicher Dichte wahrscheinlich noch nicht ganz richtig ist (vgl. S. 22). Möchte man die Verwendung der Dichte umgehen, so läßt man am zweckmäßigsten an die Stelle der Flächen gleicher Dichte die Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes MgO treten.

Die rechnerische und graphische Untersuchung einer großen Zahl von Granatanalysen ergab, daß in vielen Fällen eine befriedigende Übereinstimmung zwischen Granatformel und Analysenwerten nicht besteht. Bei den Analysen, deren Material mit Clerici-Lösung isoliert wurde (die Analysen P. Eskolas und des Verfassers) kann Unreinigkeit des Analysenpulvers nicht die Ursache sein. Die Differenzen sind größer, als daß sie durch Analysenfehler erklärt werden könnten. Bei einigen Analysen (z. B. P. Eskolas Analysen l. c. S. 31 und 38) läßt sich durch eine teilweise Umrechnung von

Fe_2O_3 auf FeO eine sehr gute Angleichung an die Granatformel erreichen. Nach der Erfahrung des Verfassers scheint Clerici-Lösung nicht oxydierend zu wirken. Will man die Erklärung, daß infolge unvollständigen Aufschlusses die FeO-Bestimmung zu niedrig ausgefallen sei, nicht gelten lassen, so kann man annehmen, daß ein Teil des Eisenoxyduls schon im Gestein oxydiert worden ist, worauf schon J. Uhlig (Lit. 13) hingewiesen hat. Es entsteht dann die Frage, wie stark sich die Lichtbrechung bei einer eventuellen Überführung von FeO in Fe_2O_3 ändert. Diese Änderung muß der Änderung durch Zumischung eines entsprechenden Betrages Andradit nicht gleich sein. Bei den erwähnten zwei Analysen stimmen nach einer teilweisen Umrechnung von Fe_2O_3 auf FeO die gemessenen Brechungsexponenten mit den errechneten überein. Das spricht dafür, daß doch wohl die Bestimmung von FeO zu niedrig ausgefallen ist.

Interessanter und auch petrographisch wichtiger ist die Frage, ob bei Granat ein Überschuß an Al_2O_3 über den Betrag, den die Formel fordert, vorkommt. Eine Antwort ist nach den dem Verfasser vorliegenden Analysen nicht möglich und dürfte erst möglich werden, wenn eine größere Zahl Analysen von völlig rein isoliertem Granat vorhanden ist oder die synthetische Darstellung von Granat in weiterem Umfang als bisher gelingt.

VIII. Diagrammatische Beziehungen zwischen physikalischen Konstanten und chemischer Zusammensetzung bei quinären Mischkristallen.

Ein quinäres Mischkristallsystem läßt sich durch eine kontinuierliche Reihe von Tetraedern darstellen, wenn in jedem einzelnen Tetraeder die fünfte Komponente mit einem invariablen Betrag berücksichtigt wird. 100 Tetraeder können gezeichnet werden, bei denen der Betrag an der fünften Komponente jeweils um eine Einheit variiert. Zeichnet man die Tetraeder der Reihe in entsprechender linearer Reduktion fortlaufend kleiner werdend, Seitenlänge $100 - n$ ($n =$ Betrag der fünften Komponente), so lassen sich in jedem Tetraeder für einen gegebenen Komplex die Prozentzahlen von fünf Komponenten ablesen, d. h. vier Komponenten nach dem Tetraederprinzip, die fünfte Komponente wird aus der Größenordnung entnommen.

Eine kontinuierliche Reihe von Tetraedern abnehmender Größe kann man nun am besten aufeinander beziehen, wenn man in einem Tetraederdiagramm der bisher gebrauchten Art durch Parallele zu den drei Tetraederkanten AB, AD und BD diese Tetraeder vom Grundtetraeder abteilt (s. Figur 12). Die Tetraeder erscheinen dann ineinander geschachtelt, in Wirklichkeit sind sie sämtlich auf die vordere Tetraederfläche des Grundtetraeders projiziert, so daß graphische Operationen zwischen den einzelnen Tetraedern möglich werden. Ein Koordinatenpapier, das die Linien, welche eine Reihe von 100 Tetraedern darstellen, und zwar in einer anderen Farbe als die Haupt-Koordinaten, schon enthielte, würde ein graphisches Arbeiten mit quinären Diagrammen besonders bequem gestalten.

In der Fig. 12 sind vier Tetraeder für 20, 40, 60 und 80 Molprozent einer fünften Komponente E angegeben: $A_{80}E_{20}$ $B_{80}E_{20}$ $C_{80}E_{20}$ $D_{80}E_{20}$, $A_{60}E_{40}$ $B_{60}E_{40}$ $C_{60}E_{40}$ $D_{60}E_{40}$ usw.

Zur eindeutigen Darstellung eines quinären Komplexes ist außer den zwei Punkten Pd und P, wie sie im quaternären Diagramm verwendet wurden, noch ein dritter

Punkt notwendig. Wählt man als solchen P_e, so ist $P_eP_d = c + d$ und $P_eP_{e'} = e$. Die Lage von P_e gibt den Betrag von e an und damit, in welchem Tetraeder der das quinäre System darstellenden Tetraederserie der Vektor P_dP liegt. Der in der Fig. 12 mit P_eP_dP gezeichnete Komplex hat die Zusammensetzung $a = 25$ $b = 22$ $c = 15$ $d = 18$ $e = 20$.

Um die diagrammatischen Beziehungen zwischen physikalischen Konstanten und chemischer Zusammensetzung eines quinären Mischkristalls kennzeichnen zu können, sei ein Beispiel für das System *A B C D E* mit den beliebig angenommenen Konstanten ζ, η, ϑ und λ unter der Voraussetzung linearer Abhängigkeit gegeben. Die Tabelle XIV enthält die Werte der Konstanten für die fünf reinen Komponenten.

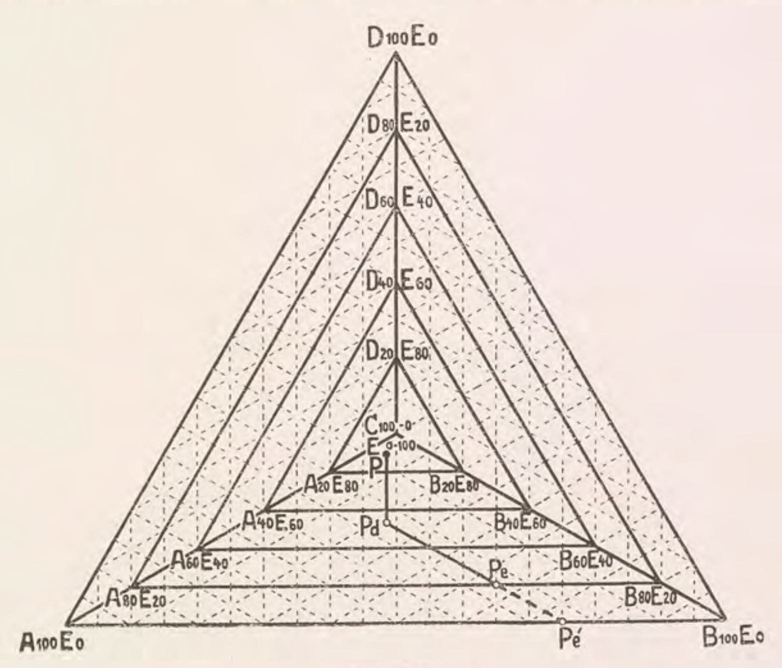


Fig. 12.

Quinäre Mischkristalle dargestellt in einer kontinuierlichen Reihe von Tetraedern. Der Komplex P_eP_dP hat die Zusammensetzung $a = 25$, $b = 22$, $c = 15$, $d = 18$, $e = 20$.

Tabelle XIV.

	ζ	η	ϑ	λ
A	1.550	2.700	3.600	4.100
B	1.600	2.550	3.700	4.250
C	1.700	2.600	3.620	4.240
D	1.750	2.800	3.650	4.200
E	1.800	2.400	3.800	4.600

Die Flächen gleicher Werte von η sind in der Fig. 13 gezeichnet. Die Flächen in jedem einzelnen Tetraeder liegen den Flächen in allen anderen Tetraedern parallel. Flächen gleicher Werte haben in den einzelnen Tetraedern verschiedene Lagen, Flächen gleicher Lage haben verschiedene Werte. Die für jedes einzelne Tetraeder

gültigen Werte können an den Kanten dieses Tetraeders abgelesen werden. Als Werte der η-Flächen liest man z. B. an der Tetraederkante

$A_{100}E_0\ B_{100}E_0$ 2.675, 2.650, 2.625, 2.600, 2.575,

an der Tetraederkante

$A_{80}E_{20}\ B_{80}E_{20}$ 2.635, 2.610, 2.585, 2.560, 2.535

ab.

Zur Ermittlung des η-Wertes eines quinären Komplexes P_eP_dP wird die Strecke P_dP auf der η-Linie, auf der der P_d-Punkt liegt, bis zur Tetraederkante AC verschoben (s. Fig. 13). Die η-Linie, die nun durch den P-Punkt geht, wird bis zu ihrem

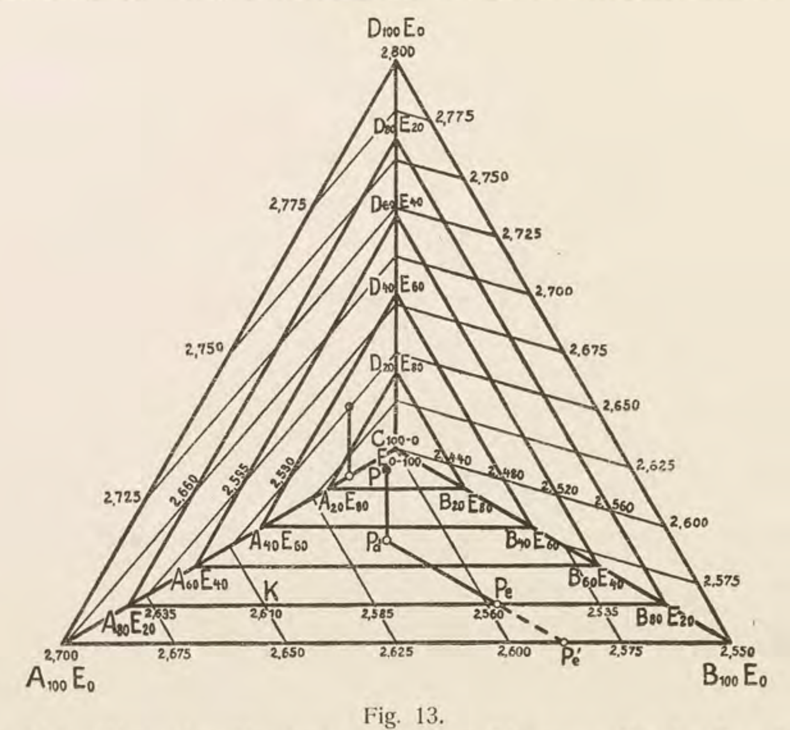


Fig. 13.
Flächen gleicher Werte einer Konstante im quinären Diagramm. Für den Komplex P_eP_dP hat die Konstante den Wert 2.610.

Schnittpunkt mit einer Kante des Tetraeders verfolgt, das durch den P_e-Punkt bestimmt ist. An diesem Schnittpunkt läßt sich der gesuchte η-Wert ablesen. In der Fig. 13 ist der Schnittpunkt mit K bezeichnet, η ist 2.610.

Zur graphischen Ermittlung der chemischen Zusammensetzung eines quinären Komplexes aus vier bekannten Konstanten muß aus den unendlich vielen Tetraedern dasjenige ausfindig gemacht werden, in dem sich die vier Flächen der vier Konstanten in einem Punkte schneiden. In diesem Tetraeder liest man die Prozentzahlen der fünf Komponenten unmittelbar ab.

Daß das Verfahren keineswegs umständlich ist, mag ein Beispiel zeigen. Gegeben sind die Werte von vier Konstanten

$$\zeta = 1.665 \qquad \eta = 2.600$$
$$\vartheta = 3.675 \qquad \lambda = 4.268$$

Im Tetraeder ohne Gehalt an der fünften Komponente E kommt die λ-Fläche nicht vor. Die ζ-, η-, ϑ-Flächen schneiden einander nicht in einem Punkte (s. Fig. 14a).

Im Tetraeder mit konstant 20 Molprozent E liegt der Punkt P, in welchem sich die ζ-, η-, ϑ-Flächen schneiden, unter der Fläche für $\lambda = 4.268$ (s. Fig. 14b), im Tetraeder mit konstant 10 Molprozent E über der Fläche für $\lambda = 4.268$ (s. Fig. 14c). Auf der Fläche für $\lambda = 4.268$ liegt der Schnittpunkt der ζ-, η-, ϑ-Flächen im Tetraeder mit konstant 15 Molprozent E (s. Fig. 14d). In diesem Tetraeder liest man die Zusammensetzung des gesuchten Komplexes ab mit

$$a = 16 \quad b = 33 \quad c = 21 \quad d = 15 \quad e = 15.$$

Die Konstruktion ist, um sie leichter verständlich zu machen, getrennt in drei Figuren ausgeführt, auch ist eine viel größere Zahl von Linien gezeichnet worden, als sie bei Kenntnis des Verfahrens notwendig ist.

Die genauen Koordinaten für die Flächen der vier Konstanten in den vier Diagrammen (Fig. 14a—14d) enthält die nachstehende Tabelle.

Tabelle XV.

Koordinaten für ζ-, η-, ϑ-, λ-Flächen der Diagramme Fig. 14a—14d.

I. Quaternäres System $A + B + C + D = 100$
II. Quinäres System $A + B + C + D + 10\,E = 100$
III. „ „ $A + B + C + D + 15\,E = 100$
IV. „ „ $A + B + C + D + 20\,E = 100.$

$\zeta = 1.665$

	binäre Systeme			
	A—C	*B—C*	*A—D*	*B—D*
I	76.7*c*	65.0*c*	57.5*d*	43.3*d*
II	60.0*c*	45.0*c*	45.0*d*	30.0*d*
III	51.7*c*	35.0*c*	38.8*d*	23.3*d*
IV	43.3*c*	25.0*c*	32.5*d*	16.7*d*

$\eta = 2.600$

	binäre Systeme			
	B—A	*C—A*	*C—D*	*B—D*
I	33.3*a*	0.0*a*	0.0*d*	20.0*d*
II	43.3*a*	20.0*a*	10.0*d*	26.0*d*
III	48.3*a*	30.0*a*	15.0*d*	29.0d
IV	53.3*a*	40.0*a*	20.0*d*	32.0*d*

$\vartheta = 4.268$

	binäre Systeme				
	A—B	*C—B*	*A—D*	*C—D*	*D—B*
I	75.0*b*	68.75*b*	—	—	50.0*b*
II	55.0*b*	46.25*b*	—	—	20.0*b*
III	45.0*b*	35.05*b*	—	—	5.0*b*
IV	35.0*b*	23.75*b*	70.0*d*	63.3*d*	—

$\lambda = 4.268$

	binäre Systeme			
	A—B	*A—C*	*D—C*	*D—B*
I	—	—	—	—
II	78.7*b*	84.3*c*	—	58.0*b*
III	62.0*b*	66.5*c*	20.0*c*	16.0*b*
IV	45.3*b*	48.6*c*	68.0*c*	—

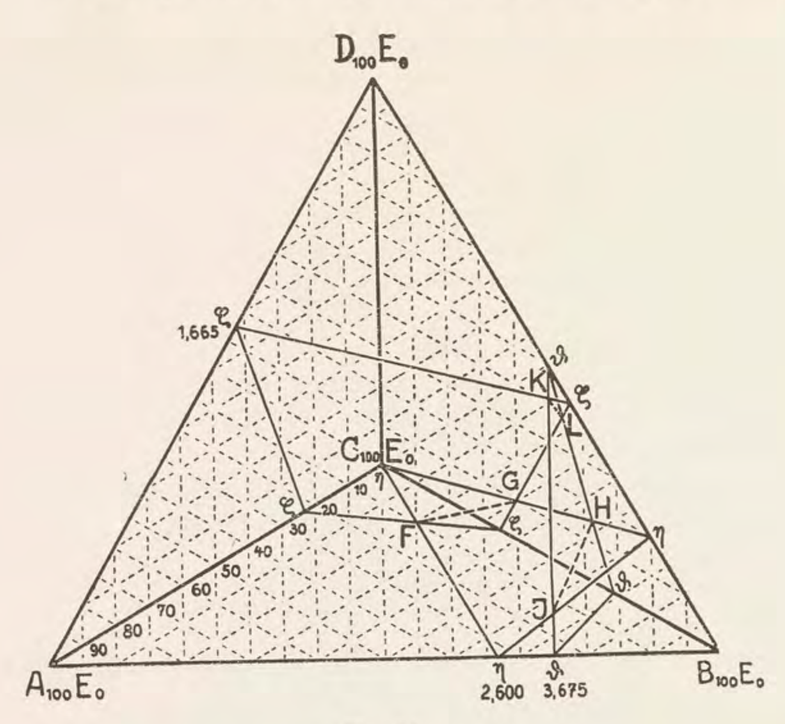


Fig. 14a.
Beispiel der graphischen Ermittlung eines quinären Mischkristalls aus 4 Konstanten. Im Tetraeder mit E_0 schneiden die Flächen dreier Konstanten einander nicht in einem Punkte.

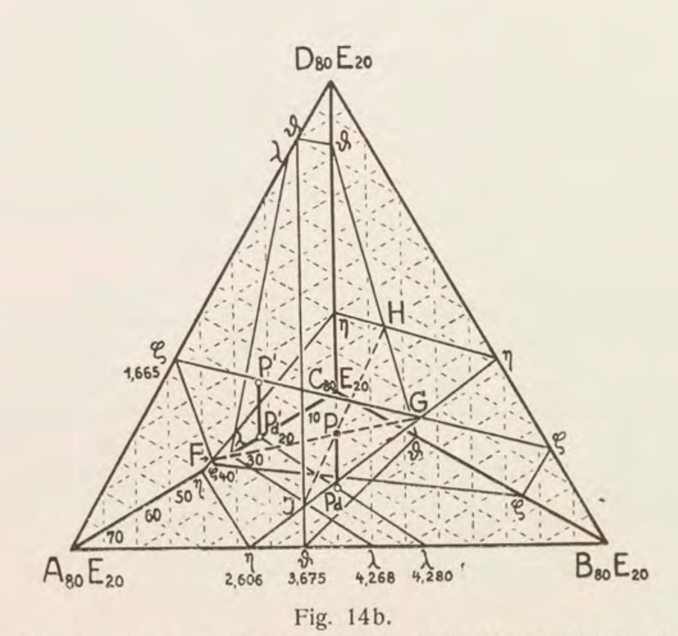


Fig. 14b.
Im Tetraeder mit E_{20} schneiden sich die Flächen dreier Konstanten in einem Punkte P, der unter der Fläche der vierten Konstante liegt.

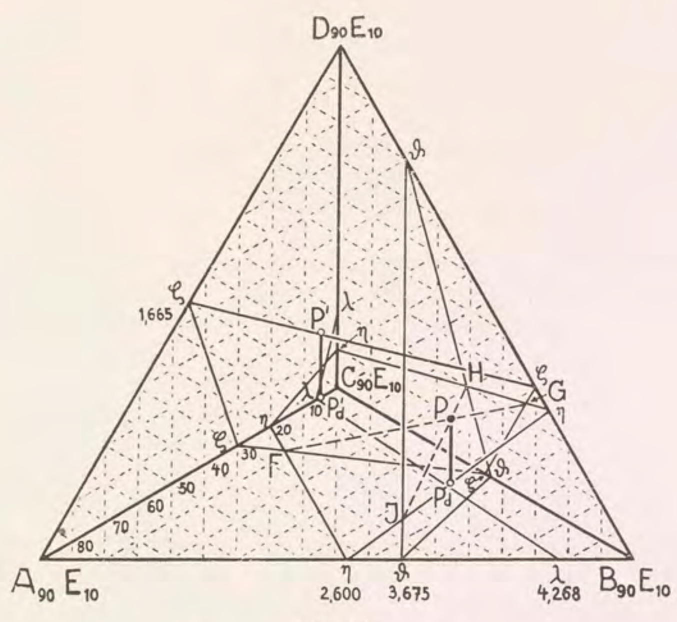


Fig. 14c.
Im Tetraeder mit E_{10} schneiden sich die Flächen dreier Konstanten in einem Punkte P, der über der Fläche der vierten Konstante liegt.

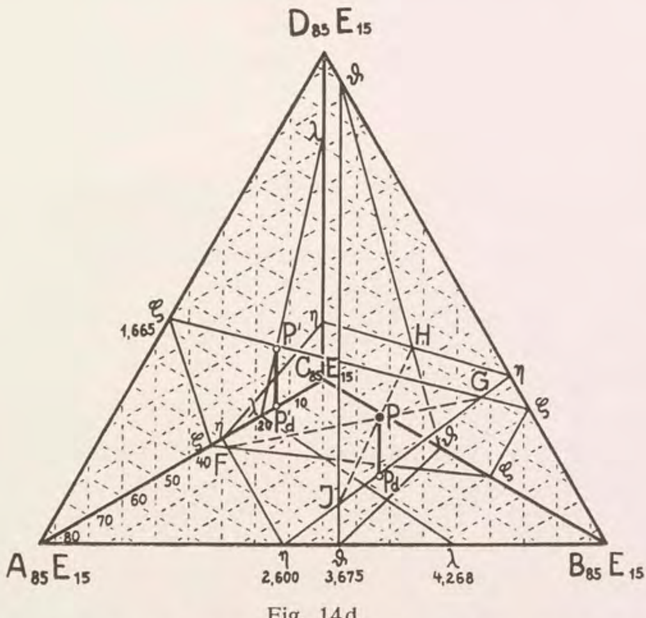


Fig. 14d.
Im Tetraeder mit E_{15} schneiden sich die Flächen der vier Konstanten in einem Punkte P. Die Zusammensetzung des gesuchten Mischkristalls ist $a = 16, b = 33, c = 21, d = 15, e = 15$.

IX. Berücksichtigung einer untergeordneten Zumischung von Spessartin und Uwarowit zum System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit durch ein Näherungsverfahren.

Im Vorhergehenden wurde gezeigt, wie man beim Hinzutreten einer fünften Komponente die Beziehungen zwischen physikalischen Konstanten und chemischer Zusammensetzung exakt graphisch behandeln kann. In vielen Fällen wird man bei untergeordneten Beträgen der fünften Komponente die praktisch erreichbare Ge-

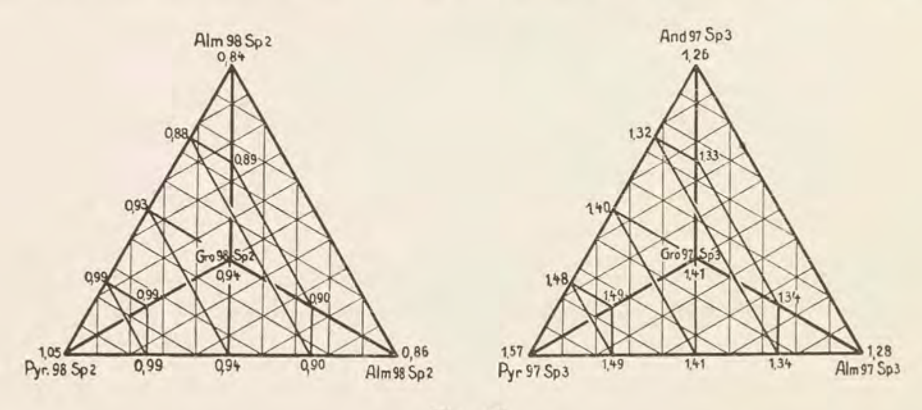


Fig. 15.

Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes an *MnO* für das System Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit + 2 bezw. 3 Spessartin.

nauigkeit schon mit einem Näherungsverfahren erzielen, vor allem dann, wenn die Konstanten der fünften Komponente den Konstanten einer der vier Hauptkomponenten ähnlich sind und auch zwischen den Molekulargewichten keine allzu großen Unterschiede bestehen. Bei diesem Verfahren werden die gemessenen Konstanten um bestimmte Werte korrigiert und für diese korrigierten Werte bleiben die Diagramme des 4-Stoffsystems anwendbar. Die fünfte Komponente wird als Teil einer der vier Hauptkomponenten behandelt.

Um ein Beispiel für dieses Verfahren zu geben, möge im folgenden erklärt werden, in welcher Weise auf einen Spessartingehalt Rücksicht zu nehmen ist. Spessartin an der Stelle von Almandin erniedrigt die Lichtbrechung eines Komplexes und zwar bei 5 Molprozent um 1.5 Einheiten der dritten Dezimale, da die Lichtbrechung des Spessartins ($n = 1.800$) etwa 0.030 niedriger ist als die des Almandins ($n = 1.830$). Bei einer graphischen Ermittlung mittels des Brechungsexponenten ohne Berücksichtigung eines vorhandenen Spessartingehaltes wird man z. B. — von geringfügigen anderen Fehlern abgesehen — zu wenig Andradit, zu viel Grossular, Pyrop richtig, als „Almandin" die Summe von Almandin und Spessartin

finden müssen. Man kann in dem Diagramm der Flächen gleicher Lichtbrechung für das System Pyrop+Almandin+Grossular+Andradit (Fig. 1 a) den Einfluß eines Spessartingehaltes für jeden einzelnen Fall ermitteln. Groß sind die Fehler nicht; bei einem Gehalt von 5 Molprozent Spessartin wird z. B. der Wert für Andradit um 1 Molprozent zu niedrig, der für Grossular um 1 Molprozent zu hoch gefunden.

In der Fig. 15 sind die Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes von *MnO* für die quinären Systeme Pyrop+Almandin+Grossular+Andradit+Spessartin mit 2 bezw. 3 Molprozent Spessartin gezeichnet. Der Gewichtsprozentwert *MnO* für gewisse pyropreiche Mischkristalle ist genau halb so groß wie der zugehörige Molprozentwert Spessartin, für die Granate mit weniger Pyrop ist er etwas kleiner. Bei ungefährer Kenntnis der Granatzusammensetzung kann man mit dem Diagramm der Fig. 15 recht genau ermitteln, auf wieviel Molprozente Spessartin ein chemisch-analytisch in Gewichtsprozenten gefundener *MnO*-Gehalt umzurechnen ist.

Für jedes Molprozent Spessartin ist ein gemessener Brechungsexponent um 0.0003 zu erhöhen. Mit dem so korrigierten Wert findet man in dem Diagramm für Pyrop–Almandin–Grossular–Andradit den Spessartin als einen Teil des „Almandins", bringt ihn von diesem in Abzug und erhält dadurch die wahren Werte für Almandin und Spessartin. Auch die Werte für Andradit, Grossular und Pyrop werden innerhalb der allgemeinen Fehlergrenzen richtig ermittelt.

Die Dichte wird durch Spessartin an der Stelle von Almandin um etwa 0.0007 für 1 Molprozent Spessartin erniedrigt.

Für die Diagramme der Flächen gleichen Gewichtsprozentgehaltes sind infolge der Ähnlichkeit der Molekulargewichte von *FeO* und *MnO* Korrekturen nicht notwendig.

Analog können bei Uwarowitgehalt an den gemessenen *n*- und *d*-Werten Korrekturen angebracht werden, um eine richtige graphische Ermittlung zu gewährleisten.

X. Zusammenfassung.

Von 16 gesteinsbildenden Granaten ist die Dispersion der Lichtbrechung mit Mikroprismen (Prismen 1 mm und kleiner) gemessen und für vier chemische Analysen sind gesteinsbildende Granate mit Clerici-Lösung isoliert worden.

Die Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dispersion der Lichtbrechung, Dichte und chemischer Zusammensetzung sind für die quaternären Mischkristalle Pyrop + Almandin + Grossular + Andradit dargestellt. Im Tetraederdiagramm sind die Flächen gleicher Lichtbrechung, gleicher Dispersion der Lichtbrechung, gleicher Dichte und gleichen Gewichtsprozentgehaltes an FeO, Fe_2O_3, MgO, CaO gezeichnet und in Tabellen sind die Daten mitgeteilt, die erlauben, die Diagramme in großem Maßstab, wie sie zu einem praktischen Gebrauch notwendig sind, zu zeichnen.

Im Tetraeder Pyrop–Almandin–Grossular–Andradit liegen die Linien, in denen die Flächen gleicher Lichtbrechung und gleicher Dichte einander schneiden, der Tetraederfläche Pyrop–Grossular–Andradit nahezu parallel, also ist der Almandingehalt

eines quaternären Granats schon durch Lichtbrechung und Dichte bestimmt. Solche spezielle Zusammenhänge zwischen einzelnen physikalischen Konstanten und chemischer Konstitution zu kennen, ist für die rasche Bestimmung einzelner Komponenten polynärer Mischkristalle von Wichtigkeit.

Ferner ist eine Methode angegeben, die gestattet, die Beziehungen zwischen physikalischen Konstanten und chemischer Zusammensetzung quinärer Mischkristalle in Diagrammen darzustellen und bei Kenntnis von vier Konstanten die chemische Zusammensetzung graphisch zu ermitteln.

Charlottenburg, Institut für Mineralogie und Petrographie der Technischen Hochschule, April 1928.

Literatur.

1. Ahlers. L.: Über die Dichte von Quarz, Orthoklas, Albit und Anorthit. Z. f. Krist. LIX. S. 293.

2. Cohen, E.: Über den Granat der südafrikanischen Diamantfelder. Mitt. aus dem Naturw. Verein f. Neuvorpommern u. Rügen in Greifswald. 20 (1888) S. 149.

3. Eskola, P.: On the Eklogites of Norway. Videnskapsselskapets Skrifter. I. Mat. naturw. Kl. 1921. Nr. 8.

4. Ford, W. E.: A Study of the Relations existing between the Chemical, Optical and other Physical Properties of the Members of the Garnet Group. Am. Journ. of Sc. CXC. 1915, S. 33.

5. Klein, C.: Mineralogische Mitteilungen IX. 20. Optische Studien am Granat. N. J. f. Min. usw. 1883, S. 87.

6. Klemm, G.: Der Granatfels von Gadernheim im Odenwald und seine Nebengesteine. Notizblatt des Vereins f. Erdkunde u. d. Hess. Landesanstalt. 1918. 4. H. S. 1.

7. Niggli, P.: Besprechung der Granatgruppe. Z. f. Krist. 57. S. 225.

8. v. Philipsborn, H.: Zur graphischen Behandlung quaternärer Systeme. N. J. f. Min. usw. BB. LVII. Abt. A. S. 973.

9. Porter. M. W.: A Contribution to the Study of the Optical Properties of Mixed Crystals. Proceed. Roy. Soc. A. 109 (1925). S. 78.

10. Rosenbusch-Wülfing-Mügge: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Band I, 2. Hälfte, 5. Aufl. 1927.

11. Seebach. M.: Chemische und mineralogische Studien am Granat. Diss. Heidelberg 1906.

12. Stockwell, C. H.: An X-Ray Study on the Garnet Group. The Americ. Mineralogist. Vol. 12 (1927) S. 327.

13. Uhlig, J.: Beitrag zur Kenntnis der Granaten in vulkanischen Gesteinen und Auswürflingen des Niederrheins. Verh. Naturhist. Vereins d. preuß. Rheinlande u. Westfalens. 67 (1910) S. 307.

Druck von August Pries in Leipzig.

J. P. MALL, Die Blut- und Lymphwege im Dünndarm des Hundes. Mit 6 Tafeln. 1887. ℳ 5.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Das Gesetz der Bewegungen in den Gelenken an der Basis der mittleren Finger und im Handgelenk des Menschen. Mit 2 Holzschnitten. 1887. ℳ 1.—
O. DRASCH, Untersuchung über die papillae foliatae et circumvallatae d. Kaninchens u. Feldhasen. Mit 8 Tafeln. 1887. ℳ 4.—
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 18. Abhdl.: Fortsetzung der Versuche über das elektrische Verhalten der Quarz- und der Boracitkrystalle. Mit 3 Tafeln. 1887. ℳ 2.—
W. HIS, Zur Geschichte des Gehirns, sowie der zentralen u. peripherischen Nervenbahnen. Mit 3 Taf. u. 27 Holzschn. 1888. ℳ 3.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Über den Anteil, den die einzelnen Gelenke des Schultergürtels an der Beweglichkeit des menschlichen Humerus haben. Mit 3 Tafeln. 1888. ℳ 1.60
G. HEINRICIUS und H. KRONECKER, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme. Mit 5 Tafeln. 1888. ℳ 1.80
J. WALTHER, Die Korallenriffe d. Sinaihalbinsel. Mit 1 geologischen Karte, 7 lithogr. Taf., 1 Lichtdrucktaf. u. 31 Zinkotyp. 1888. ℳ 6.—
W. SPALTEHOLZ, Die Verteilung der Blutgefäße im Muskel. Mit 3 Tafeln. 1888. ℳ 1.80
S. LIE, Zur Theorie d. Berührungstransformationen. 1888. ℳ 1.—
C. NEUMANN, Über die Methode des arithmetischen Mittels. 2. Abhdlg. Mit 19 Holzschnitten. 1888. ℳ 6.—

XV. BAND. (26. Bd.) 1890. brosch. Preis ℳ 35.—

B. PETER, Monographie d. Sternhaufen G. C. 4460 u. G. C. 1440, sowie e. Sterngruppe bei o Piscium. Mit 2 Taf. u. 2 Holzschn. 1889. ℳ 4.—
W. OSTWALD, Über die Affinitätsgrößen organischer Säuren u. ihre Beziehung zur Zusammensetz. u. Konstitution ders. 1889. ℳ 5.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Die Rotationsmomente der Beugemuskeln am Ellbogengelenk des Menschen. Mit 5 Tafeln und 6 Holzschnitten. 1889. ℳ 3.—
W. HIS, Die Neuroblasten und deren Entstehung im embryonalen Mark. Mit 4 Tafeln. 1889. ℳ 3.—
W. PFEFFER, Beiträge zur Kenntnis der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen. 1889. ℳ 5.—
A. SCHENK, Über Medullosa Cotta und Tubicaulis Cotta. Mit 3 Tafeln. 1889. ℳ 2.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers mit Rücksicht auf die Ausrüstung des deutschen Infanteristen. Mit 17 Tafeln und 18 Figuren. 1889. ℳ 8.—
W. HIS, Die Formentwicklung des menschlichen Vorderhirns vom Ende des 1. bis zum Beginn des 3. Monats. Mit 1 Taf. 1889. ℳ 2.80
J. GAULE, Zahl u. Verteilung der markhaltigen Fasern im Froschrückenmark. Mit 10 Tafeln. 1889. ℳ 3.—

XVI. BAND. (27. Bd.) 1891. brosch. Preis ℳ 21.—

P. STARKE, Arbeitsleistung u. Wärmeentwickelung bei d. verzögerten Muskelzuckung. Mit 9 Taf. u. 3 Holzschnitten. 1890. ℳ 6.—
W. PFEFFER, I. Über Aufnahme und Ausgabe ungelöster Körper. — II. Zur Kenntnis der Plasmahaut und der Vacuolen nebst Bemerkungen über den Aggregatzustand des Protoplasmas und über osmotische Vorgänge. Mit 2 Tafeln und 1 Holzschn. 1890. ℳ 7.—
J. WALTHER, Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung. Untersuchungen über die Bildung der Sedimente in den ägyptischen Wüsten. Mit 8 Tafeln und 99 Zinkätzungen. 1891. Vergriffen. ℳ 8.—

XVII. BAND. (29. Bd.) 1891. brosch. Preis ℳ 33.—

W. HIS, Die Entwicklung des menschlichen Rautenhirns vom Ende des 1. bis zu Beginn des 3. Monats. I. Verläng. Mark. Mit 4 Tafeln und 18 Holzschnitten. 1891. ℳ 4.—
W. BRAUNE und O. FISCHER, Die Bewegung des Kniegelenks, nach einer neuen Methode am lebenden Menschen gemessen. Mit 19 Tafeln und 6 Figuren. 1891. ℳ 5.—
R. HAHN, Mikrometrische Vermessung des Sternhaufens Σ 762 ausgeführt am zwölffüßigen Äquatorial der Leipziger Sternwarte. Mit 1 Tafel. 1891. ℳ 6.—
F. MALL, Das retikulierte Gewebe und seine Beziehungen zu den Bindegewebsfibrillen. Mit 11 Tafeln. 1891. ℳ 5.—
L. KREHL, Beiträge zur Kenntnis der Füllung und Entleerung des Herzens. Mit 7 Tafeln. 1891. ℳ 5.—
J. HARTMANN, Die Vergrößerung des Erdschattens bei Mondfinsternissen. Mit 1 lithogr. Tafel u. 3 Textfiguren. 1891. ℳ 8.—

XVIII. BAND. (31. Bd.) 1893. brosch. Preis ℳ 24.—

W. HIS, jun., Die Entwickelung des Herznervensystems bei Wirbeltieren. Mit 4 Tafeln. 1891. ℳ 5.—
C. NEUMANN, Über einen eigentümlichen Fall elektrodynamischer Induction. Mit 1 Holzschnitt. 1892. ℳ 3.—
W. PFEFFER, Studien z. Energetik d. Pflanze. 1892. Vergr. ℳ 4.—
W. OSTWALD, Über die Farbe der Ionen. Mit 7 Taf. 1892. ℳ 2.—
O. EICHLER, Anatom. Untersuchungen über d. Wege des Blutstromes im menschl. Ohrlabyrinth. Mit 4 Taf. u. 3 Holzschn. 1892. ℳ 3.—
H. HELD, Die Beziehungen des Vorderseitenstranges zu Mittel- und Hinterhirn. Mit 3 Tafeln. 1892. ℳ 1.20
W. G. HANKEL u. H. LINDENBERG, Elektrische Untersuchungen. 19. Abhdl.: Über die thermo- u. piezoelektrischen Eigenschaften der Krystalle des chlorsauren Natrons, des unterschwefelsauren Kalis, des Seignettesalzes, des Resorcins, des Milchzuckers und des dichromsauren Kalis. Mit 3 Tafeln. 1892. ℳ 1.80
W. BRAUNE u. O. FISCHER, Best. d. Trägheitsmomente d. menschl. Körpers u. seiner Glieder. Mit 5 Taf. u. 7 Figur. 1892. ℳ 4.—

XIX. BAND. (3. Bd.) 1893. brosch. Preis ℳ 12.—

J. T. STERZEL, Die Flora des Rotliegenden im Plauenschen Grunde bei Dresden. Mit 13 Tafeln. 1893. ℳ 12.—

XX. BAND. (33. Bd.) 1893. brosch. Preis ℳ 21.—

O. FISCHER, Die Arbeit der Muskeln und die lebendige Kraft des menschlichen Körpers. Mit 2 Tafeln u. 11 Figuren. 1893. ℳ 4.—
E. STUDY, Sphärische Trigonometrie, orthogonale Substitutionen u. elliptische Funktionen. Mit 16 Figuren. 1893. Vergriffen. ℳ 5.—
W. PFEFFER, Druck- und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Mit 14 Holzschnitten. 1893. ℳ 8.—
H. CREDNER, Zur Histologie der Faltenzähne paläozoischer Stegocephalen. Mit 4 Tafeln und 5 Textfiguren. 1893. ℳ 4.—

XXI. BAND. (35. Bd.) 1895. brosch. Preis ℳ 25.—

O. EICHLER, Die Wege des Blutstromes durch den Vorhof und die Bogengänge des Menschen. Mit 1 Doppeltafel. 1894. ℳ 1.—
W. G. HANKEL u. H. LINDENBERG, Elektrische Untersuchungen. 20. Abhdl.: Über die thermo- u. piezoelektrischen Eigenschaften der Krystalle des brom- und überjodsauren Natrons, des Asparagins, des Chlor- und Brombaryums, sowie des unterschwefelsauren Baryts und Strontians. Mit 2 Tafeln. 1894. ℳ 1.60
S. LIE, Untersuch. üb. unendl. kontinuierliche Gruppen. 1895. ℳ 5.—
W. BRAUNE u. O. FISCHER, Der Gang des Menschen. I. T.: Versuch am unbelast. u. bel. Mensch. M. 14 Taf. u. 26 Textfig. 1895. ℳ 12.—
H. BRUNS, Das Eikonal. 1895. ℳ 5.—
J. THOMAE, Untersuchungen über zwei-zweideutige Verwandtschaften und einige Erzeugnisse derselben. 1895. ℳ 3.—

XXII. BAND. (37. Bd.) 1895. brosch. Preis ℳ 20.—

H. CREDNER, Die Phosphoritknollen des Leipziger Mitteloligocäns und d. norddeutschen Phosphoritzonen. Mit 1 Tafel. 1895. ℳ 2.—
O. FISCHER, Beiträge zu einer Muskeldynamik. 1. Abhdl.: Über die Wirkungsweise eingelenk. Musk. M. 8 Taf. u. 13 Textfig. 1895. ℳ 9.—
R. BOEHM, Das südamerikanische Pfeilgift Curare in chemischer und pharmakol. Bezieh. I. T.: Das Tubo-Curare. Mit 1 Taf. 1895. ℳ 1.80
B. PETER, Beobachtungen am sechszölligen Repsoldschen Heliometer d. Leipziger Sternwarte. Mit 4 Textfig. u. 1 Doppeltaf. 1895. ℳ 6.—
W. HIS, Anatom. Forschungen üb. Joh. Seb. Bach's Gebeine u. Antlitz nebst Bemerk. üb. dessen Bild. M. 15 Textfig. u. 1 Taf. 1895. ℳ 2.—

XXIII. BAND. (40. Bd.) 1897. brosch. Preis ℳ 29.—

P. DRUDE, Über die anomale elektrische Dispersion von Flüssigkeiten. Mit 1 Tafel und 2 Textfiguren. 1896. ℳ 2.—
—— Zur Theorie stehender elektr. Drahtwellen. M. 1 Taf. 1896. ℳ 5.—
M. v. FREY, Untersuchungen über d. Sinnesfunktionen d. menschl. Haut. 1. Abhdl.: Druckempfindung und Schmerz. Mit 16 Textfiguren. 1896. ℳ 5.—
O. FISCHER, Beiträge zur Muskelstatik. 1. Abhdlg.: Über das Gleichgewicht zwischen Schwere und Muskeln am zweigliedrigen System. Mit 7 Tafeln und 21 Textfiguren. 1896. ℳ 6.—
J. HARTMANN, Die Beob. d. Mondfinstern. M. 4 Textfig. 1896. ℳ 5.—
O. FISCHER, Beiträge zu einer Muskeldynamik. 2. Abhdlg.: Über die Wirkung der Schwere und beliebiger Muskeln auf das zweigliedrige System. Mit 4 Taf. und 12 Textfig. 1897. ℳ 6.—

XXIV. BAND. (42. Bd.) 1898. brosch. Preis ℳ 23.50

R. BOEHM, Das südamerikanische Pfeilgift Curare in chemischer und pharmakologischer Beziehung. II. Teil (Schluß): I. Das Calebassencurare. II. Das Topfcurare. III. Über einige Curarerinden. Mit 4 Tafeln und 1 Textfigur. 1897. ℳ 3.—
W. WUNDT, Die geometrisch-optischen Täuschungen. Mit 65 Textfiguren. 1898. (Vergr.) ℳ 5.—
B. PETER, Beobachtungen am sechszöll. Repsoldschen Heliometer der Leipz. Sternwarte. 2. Abhdl. Mit 2 Textfig. u. 1 Taf. 1898. ℳ 5.—
H. CREDNER, Die Sächsischen Erdbeben während der Jahre 1889 bis 1897. Mit 5 Taf. u. 2 in d. Text gedruckt. Kärtch. 1898. ℳ 4.50
W. HIS, Über Zellen- und Syekytenbildung, Studien am Salmonidenkeim. Mit 14 Figuren im Text. 1898. ℳ 4.—
W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. 21. Abhdl.: Über die thermo- und piezo-elektrischen Eigenschaften der Krystalle des ameisensauren Baryts, Bleioxyds, Strontians und Kalkes, des salpetersauren Baryts und Bleioxyds, des schwefelsauren Kalis, des Glycocolls, Taurins und Quercits. Mit 2 Tafeln. 1899. ℳ 2.—

XXV. BAND. (43. Bd.) 1900. brosch. Preis ℳ 26.30

O. FISCHER, Der Gang des Menschen. II. T.: Die Bewegung des Gesamtschwerpunktes und die äußeren Kräfte. Mit 12 Tafeln und 5 Textfiguren. 1899. ℳ 8.—
W. SCHEIBNER, Über die Differentialgleichungen der Mondbewegung. 1899. ℳ 1.50
W. HIS, Protoplasmastudien am Salmonidenkeim. Mit 3 Tafeln und 21 Textfiguren. 1899. ℳ 5.—
W. OSTWALD, Periodische Erscheinungen bei der Auflösung des Chroms in Säuren. Erste Mitteilung. Mit 6 Tafeln. 1899. ℳ 3.—
S. GARTEN, Beiträge zur Physiologie des elektrischen Organes des Zitterrochen. Mit 1 Lichtdruck- u. 3 lithograph. Taf. 1899. ℳ 5.—
W. SCHEIBNER, Zur Theorie des Legendre-Jacobischen Symbols $\left(\frac{n}{m}\right)$ 1900. 1. Abhandlung. ℳ 1.80
W. OSTWALD, Dampfdrucke ternärer Gemische. Mit 36 Textfiguren. 1900. ℳ 2.—

XXVI. BAND. (45. Bd.) 1901. brosch. Preis ℳ 36.—

E. BECKMANN, Neue Vorrichtungen zum Färben nichtleuchtender Flammen (Spektrallampen). Mit 2 Tafeln. 1900. ℳ 2.—
W. OSTWALD, Periodische Erscheinungen bei der Auflösung des Chroms in Säuren. Zweite Mitteil. Mit 16 Textfig. 1900. ℳ 2.50
O. FISCHER, Der Gang des Menschen. III. T.: Betracht. über die weiteren Ziele der Untersuch. u. Überblick über die Bewegungen der unteren Extremitäten. Mit 7 Taf. u. 3 Textfig. 1900. ℳ 6.—
W. HIS, Lecithoblast und Angioblast der Wirbeltiere. Histogenetische Studien. Mit 102 Textfiguren. 1901. ℳ 8.—
S. GARTEN, Über rhythmische, elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Mit 13 Doppeltafeln. 1902. ℳ 5.50
R. FICK, Über die Bewegungen in den Handgelenken. Mit 8 Figuren im Text, 7 photograph. u. 3 lithograph. Tafeln. 1901. ℳ 6.50
FISCHER, Der Gang des Menschen. IV. T.: Über die Bewegung des Fußes und die auf denselben einwirkenden Kräfte. Mit 3 Tafeln und 11 Textfiguren. 1902. ℳ 5.50

XXVII. BAND. (46. Bd.) 1902. brosch. Preis ℳ 35.30

E. GROSSMANN, Beobachtungen am Repsold'schen Meridiankreise der von Kuffner'schen Sternwarte in Wien-Ottakring in den Jahren 1896—1898. Mit 4 Textfiguren. 1902. ℳ 6.—
C. NEUMANN, Über die Maxwell-Hertzsche Theorie. Mit 3 Textfiguren. 1901. 1. Abhandlung. ℳ 3.50

W. HIS, Beobachtungen zur Geschichte d. Nasen- u. Gaumenbildung beim menschlichen Embryo. Mit 48 Figuren i. Text. 1901. ℳ 3.80
F. MARCHAND, Über das Hirngewicht des Menschen. 1902. ℳ 3.—
O. FISCHER, Das statische und das kinetische Maß für die Wirkung eines Muskels, erläutert an ein- und zweigelenkigen Muskeln des Oberschenkels. Mit 12 Tafeln. 1902. ℳ 7.50
B. PETER, Beobachtungen am sechszöll. Repsoldschen Heliometer der Leipziger Sternwarte. 3. Abhdl. Mit 1 Tafel. 1902. ℳ 2.50
W. SCHEIBNER, Zur Theorie des Legendre-Jacobi'schen Symbols $\left(\frac{n}{m}\right)$, insbesondere über zweiteil. komplexe Zahlen. 2 Abhdl. Mit 2 Textfiguren. 1902. ℳ 3.50
C. NEUMANN, Über die Maxwell-Hertzsche Theorie. 2. Abhdl. Mit 3 Textfiguren. 1902. ℳ 3.50
F. HAYN, Selenographische Koordinaten. 1. Abhdl. 1902. ℳ 2.—

XXVIII. BAND. (49. Bd.) 1903. brosch. Preis ℳ 31.—
H. HELD, Untersuchungen über den feineren Bau des Gehörorgans der Wirbeltiere. I. Zur Kenntnis des Cortischen Organs und des Goltzschen Sinnesapparates bei Säugetieren. Mit 4 Doppeltafeln. 1 Tafel und 2 Figuren im Text. 1902. ℳ 6.—
C. NEUMANN, Über die Maxwell-Hertzsche Theorie. 3. Abhdlg. Mit 3 Textfiguren. 1902. ℳ 1.50
F. ZIRKEL, Über Urausscheidungen in rhein. Basalten. 1902. ℳ 3.—
H. HELD, Über den Bau der Neuroglia und über die Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut. Mit 60 Figuren im Text und auf Tafeln. 1903. ℳ 6.50
O. FISCHER, Der Gang des Menschen. V. T.: Die Kinematik des Beinschwingens. Mit 5 Doppeltafeln und 3 Textfiguren. 1904. ℳ 5.—
H. CREDNER, Der vogtländ. Erdbebenschwarm v. 13. Febr. bis zum 18. Mai 1903 u. seine Registrier. durch d. Wiechertsche Pendelseismometer i. Leipzig. Mit 26 Seismogr. a. Textfig. u. 1 K. 1904. ℳ 5.—
O. FISCHER, Der Gang des Menschen. VI. T.: Über den Einfluß der Schwere und der Muskeln auf die Schwingungsbewegung des Beins. Mit 3 Doppeltafeln und 7 Textfiguren. 1904. ℳ 4.—

XXIX. BAND. (51. Bd.) 1906. brosch. Preis ℳ 25.20
F. HAYN, Selenographische Koordinaten. 2. Abhdlg. Mit 4 Tafeln. 1904. ℳ 6.—
H. HELD, Zur weiteren Kenntnis der Nervenendfüße und zur Struktur der Sehzellen. Mit 1 Doppeltafel. 1904. ℳ 2.—
C. CORRENS, Gregor Mendels Briefe an Carl Nägeli 1866—1873. Ein Nachtrag zu den veröffentlichten Bastardierungsversuchen Mendels. Mit einem Faksimile. 1905. ℳ 3.—
O. FISCHER, Über die Bewegungsgleichungen räumlicher Gelenksysteme. Mit 6 Textfiguren. 1905. ℳ 3.50
A. NATHANSOHN, Über die Bedeutung vertik. Wasserbeweg. für die Produktion des Planktons im Meere. Mit 1 Karte. 1906. ℳ 4.—
E. MARX, Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen. Mit 6 Textfiguren. 1906. I. Teil. ℳ 1.60
B. PETER, Beobachtungen am sechszölligen Repsoldschen Heliometer der Leipziger Sternwarte. 4. Abhdlg. Triangulation von 28 Sternen in den Hyaden. 1906. ℳ 3.50
H. BRUNS, Das Gruppenschema für zufäll. Ereignisse. 1906. ℳ 1.60

XXX. BAND. (56. Bd.) 1909. brosch. Preis ℳ 22.40
F. HAYN, Selenographische Koordinaten. 3. Abhdlg. Mit 1 lithographischen Tafel. 1907. ℳ 4.—
W. MÖBIUS, Zur Theorie des Regenbogens und ihrer experimentellen Prüfung. Mit 24 Figuren im Text. 1907. ℳ 5.—
W. PFEFFER, Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen der Blattorgane. Mit 36 Textfiguren. 1907. ℳ 8.—
B. PETER, Parallaxenbestimmungen an dem Repsoldschen Heliometer der Leipziger Sternwarte. 1908. ℳ —.80
O. WIENER, Der Zusammenhang zwischen den Angaben der Reflexionsbeobachtungen an Metallen und ihren optischen Konstanten. Mit 18 Figuren im Text. 1908. ℳ 2.60
A. v. OETTINGEN, Elemente d. projektiven Dioptrik. Mit 9 Figuren auf 2 Tafeln. 1908. ℳ 2.—

XXXI. BAND. (58. Bd.) 1909. brosch. Preis ℳ 25.20
O. FISCHER, Zur Kinematik des Listingschen Gesetzes. Mit 2 Tafeln und 32 Figuren im Text. 1909. ℳ 3.40
C. NEUMANN, Über das logarithmische Potential einer gewissen Ovalfläche. Mit 6 Abbildungen im Text. 1909. ℳ 3.—
A. v. OETTINGEN, Robert Mayers wissenschaftlicher Entwicklungsgang im Jahre 1841. Vortrag, geh. am 25. Mai 1908. 1909. ℳ 1.—
E. v. MEYER, Über Zersetzungsweisen vierfach-alkylierter Ammoniumverbindungen. Nach eigenen Versuchen und Untersuchungen von E. Schwabe. 1909. ℳ 1.—
H. HELD, Untersuchungen üb. d. feineren Bau d. Ohrlabyrinthes der Wirbeltiere. II. Zur Entwicklungsgesch. d. Cortischen Organs u. d. Macula acustica bei Säugetieren u. Vögeln. M. 18 Taf. 1909. ℳ 7.—
F. HAUSDORFF, Die Graduierung nach d. Endverlauf. 1909. ℳ 1.60
K. ROHN, Der Büschel von Flächen 2. Grades im Raume S_n und ein $(n+1)$-Flach in besonderer Beziehung zu ihm. 1909. ℳ 1.20
F. MARCHAND, Über die normale Entwicklung und den Mangel des Balkens im menschl. Gehirn. M. 5 Taf. u. 32 Fig. i. T. 1909. ℳ 7.—

XXXII. BAND (61. Bd.) 1913. brosch. Preis ℳ 35.—
O. FISCHER, Zur Kinematik der Gelenke vom Typus des Humero-Radialgelenks. Mit 28 Figuren im Text. 1909. ℳ 3.50
E. MARX, Zweite Durchführung der Geschwindigkeitsmessung der Röntgenstrahlen. Experimentaluntersuchung. Mit 14 Figuren im Text und 10 Kurventafeln. 1910. ℳ 4.—
W. PFEFFER, Der Einfluß von mechanischer Hemmung und von Belastung auf d. Schlafbewegungen. Mit 31 Textfig. 1911. ℳ 6.—
H. MIEHE, Javanische Studien. Mit 25 Textfiguren. 1911. ℳ 6.—
E. GROSSMANN, Die Polhöhe d. Leipziger Sternwarte. 1912. ℳ 3.50
O. WIENER, Die Theorie des Mischkörpers für das Feld der stationären Strömung. Erste Abhdlg.: Die Mittelwertsätze für Kraft, Polarisation und Energie. Mit 9 Figuren im Text. 1912. ℳ 4.—
K. H. SCHEUMANN, Petrographische Untersuchungen an Gesteinen des Polzengebietes in Nord-Böhmen, insbesondere über die Spaltungsserie d. Polzenit-Trachydolerit-Phonolith-Reihe. Mit 34 Fig. im Text nach Zeichnungen des Verfassers. 1913. ℳ 8.—

XXXIII. BAND. (64. Bd.) 1917. brosch. Preis ℳ 25.—
F. HAYN, Selenograph. Koordinaten. 4. Abhdl. M. 11 Taf. 1914. ℳ 8.—
C. NEUMANN, Über die Dirichletsche Theorie der Fourierschen Reihen. Ein Versuch, die Dirichletsche Theorie so umzugestalten, daß sie Auskunft gibt nicht nur über die Gleichwertigkeit zwischen der gegebenen Funktion und der ihr entsprechenden Fourierschen Reihe, sowie über die Konvergenz der Reihe, sondern auch über d. Gleichmäßigkeit dieser Konvergenz. M. 7 Fig. i. T. 1914. ℳ 3.—
C. NEUMANN, Franz Neumanns Beiträge zur Krystallonomie aus den Jahren 1823 und 1826. Ein Versuch, den wesentlichen Inhalt dieser vor fast hundert Jahren erschienenen fundamentalen Schriften in übersichtlicher und lückenloser Weise darzustellen. Mit 66 Figuren im Text und 22 Tafeln. 1916. ℳ 14.—

XXXIV. BAND. (65. Bd.) 1918. brosch. Preis ℳ 23.—
W. PFEFFER, Beiträge zur Kenntnis der Entstehung der Schlafbewegungen. Mit 36 Figuren im Text. 1915. ℳ 6.—
A. v. OETTINGEN, Die Grundlage d. Musikwissenschaft u. d. duale Reininstrument. Mit 2 Separattafeln u. 86 Taf. i. T. 1916. ℳ 8.—
W. OSTWALD, Beiträge zur Farbenlehre. Erstes bis fünftes Stück. 1917. Mit 16 Figuren im Text. ℳ 9.—

XXXV. BAND. 1920. brosch. Preis ℳ 38.60
V. BJERKNES, Über thermodynamische Maschinen, d. unter Mitwirkung d. Schwerkraft arbeiten. Mit 4 Fig. im T. 1916. ℳ 1.60
—— Über Wellenbewegung in kompressiblen, schweren Flüssigkeiten. 1916. ℳ 1.60
J. THOMAE, Über den Steinerschen Strahlenbüschel und den Dreispitz. Mit 15 Figuren im Text. 1916. ℳ 3.—
R. GROSS, Zur Theorie des Wachstums- und Lösungsvorganges kristalliner Materie. 1918. Mit 32 Figuren im Text. ℳ 3.—
J. T. STERZEL, Die organischen Reste des Kulms und Rotliegenden der Gegend von Chemnitz. Mit 15 Taf. u. 1 Textfig. 1918. ℳ 12.—
M. UIBE, Über die Helligkeitsverteilung des diffusen Sonnenlichts am klaren Himmel. Mit 6 Figuren im Text und 28 Tafeln. ℳ 2.40
C. NEUMANN, Beiträge zum Studium der Randwertaufgaben. Mit 59 Figuren im Text. 1920. ℳ 15.—

XXXVI. BAND. (72. Bd.) 1920. brosch. Preis ℳ 23.—
O. WIENER, Die streckenweise Berechnung der Geschoßflugbahnen. Mit 4 Figuren im Text. 1919. ℳ 3.—
E. SCHIEBOLD, Die Verwendung der Lauediagramme zur Bestimmung der Struktur des Kalkspates. Mit 46 Figuren. 1919. ℳ 6.—
F. ETZOLD, Die sächsischen Erdbeben während d. Jahre 1907—1915. Mit 9 Textfiguren und 1 Tafel. 1919. ℳ 9.20
S. GARTEN, Über die Grundlagen unserer Orientierung im Raume. Mit 8 Abbildungen im Text und 4 Tafeln. 1920. ℳ 4.20
R. BECK, Über Protothamnopteris nov. sp., einem neuen verkieselten Farn aus dem Chemnitzer Rotliegenden. Mit 2 Tafeln und 8 Figuren im Text. 1920. ℳ 1.60

XXXVII. BAND. 1920. brosch. Preis ℳ 34.80
W. PENCK, Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien). Ein Beitrag z. Kenntnis d. andinen Gebirgstypus u. zu d. Frage d. Gebirgsbildung. Mit 9 Taf., 1 Karte u. 17 Fig. im Text. 1920. ℳ 30.—
R. A. PFEIFER, Myelogenetisch-anatomische Untersuchungen über das kortikale Ende der Hörleitung. Mit 3 Figuren im Text und 31 Tafeln. 1920. ℳ 4.80

XXXVIII. BAND. 1921. brosch. Preis ℳ 28.60
B. PETER†, Parallaxenbestimmungen an dem Repsoldschen Heliometer d. Leipz. Sternwarte. Bearb. v. H. Naumann. 1920. ℳ 1.50
F. KOSSMAT, Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. Mit 1 Kartentafel und 6 Textfiguren. 1921. ℳ 3.50
FR. RINNE, Röntgenographische Feinbaustudien. Mit 32 Figuren. 1921. ℳ 5.—
O. WIENER, Das Grundgesetz der Natur und die Erhaltung der absoluten Geschwindigkeit im Äther. Mit 9 Abb. 1921. ℳ 3.60
H. HELD, Über die Entwicklung des Axenskeletts der Wirbeltiere. Mit 8 Tafeln. 1921. ℳ 3.50
FR. HAYN, Die Plejaden. Mit 1 Tafel. 1921. ℳ 2.50
S. GARTEN, Beiträge z. Vokallehre. I. Analyse der Vokale mit dem Quinckeschen Interferenzapparat. M. 3 Taf. u. 3 Textfig. 1921. ℳ 3.—
—— —— II. Eigentöne d. Mundhöhle bei Einstellg. auf versch. Vokale ohne Betätigung d. Stimme. Mit 1 Taf. u. 2 Textfig. 1921. ℳ 2.50
—— u. F. KLEINKNECHT, Beiträge zur Vokallehre. III. Die automatische harmonische Analyse der gesungenen Vokale. Mit 4 Taf. und 5 Textfiguren. 1921. ℳ 3.50

XXXIX. BAND. 1925.
K. H. SCHEUMANN, Prävariskische Glieder der Sächsisch-Fichtelgebirgischen kristallinen Schiefer. I. Die magmatisch orogenetische Stellung der Frankenberger Gneisgesteine. 1924. Mit 14 Textfig. ℳ 3.50
L. WEICKMANN, Wellen im Luftmeer. Neuere Untersuchungen über Gesetzmäßigkeiten im Gange und in der Verteilung des Luftdruckes. Erste Mitteilung. Symmetriepunkte des Luftdruckganges. Der Luftdruck als zusammengesetzte Schwingung. Mit 29 Figuren im Text und auf 6 Tafeln. 1924. ℳ 3.—
K. H. SCHEUMANN, Die gesteins- und mineralfazielle Stellung der Metakieselschiefergruppe der südlichen Randzone des sächsischen Granulitgebirges. Mit 20 Figuren im Text u. auf einer Tafel. ℳ 2.75
R. GRAHMANN, Diluvium und Pliozän in Nordwestsachsen. Mit 24 Abbildungen im Text und 4 Kartentafeln. ℳ 5.—
H. REICHERT, Tektonik des Meißner Syenit-Granitmassivs. Mit 1 Tafel und 9 Textfiguren. 1926. ℳ 3.—
S. W. RÖSCH, Über Reflexphotographie. Mit 7 Tafeln und 90 Textfiguren. 1926. ℳ 5.50
F. SCHUCK, Tektonisch-Petrologische Studien am Mittweidaer Granitkörper. Mit 20 Figuren und 1 Tafel. 1927. ℳ 2.50

XL. BAND. 1927.
H. MEYER, Morphologie der Virungavulkane in Ruanda, Ostafrika Mit 1 Karte, 1 Panorama und 10 Bildertafeln. 1927. ℳ 4.—
F. HAYN, Der Sternhaufen Praesepe. Mit einem Anhange von H. Naumann Mit 1 Figur. 1927. ℳ 2.40
H. v. PHILIPSBORN, Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dichte und chemischer Zusammensetzung in der Granatgruppe. Mit 15 Figuren im Text. 1928. ℳ 2.50

Leipzig, Juli 1928.

S. Hirzel.

Druck von August Pries in Leipzig.